

**19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**

**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

**Offenlegungsschrift**  
**DE 102 45 135 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 02 N 2/02**

- |    |                  |              |
|----|------------------|--------------|
| ②① | Aktenzeichen:    | 102 45 135.4 |
| ②② | Anmeldetag:      | 27. 9. 2002  |
| ④③ | Offenlegungstag: | 24. 4. 2003  |

- (30) Unionspriorität:**  
2001/301571                      28. 09. 2001    JP
- (71) Anmelder:**  
Nippon Soken, Inc., Nishio, Aichi, JP; Denso Corp.,  
Kariya, Aichi, JP
- (74) Vertreter:**  
Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner GbR, 80336  
München

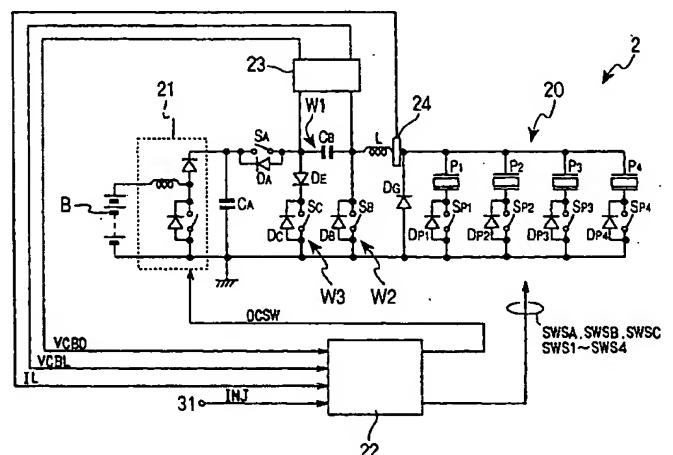
- (72) Erfinder:  
Igashira, Toshihiko, Kariya, Aichi, JP; Sakakibara,  
Yasuyuki, Nishio, Aichi, JP; Fukagawa, Yasuhiro,  
Nishio, Aichi, JP

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

**Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt**

- ### ⑤4 Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung

- Es wird eine Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung angegeben, die einen ersten Kondensator (CA), der durch eine Gleichspannungsversorgung (21) vor einem Laden von Piezostapeln (P1-P4) geladen wird, einen zweiten Kondensator (CB), der in Reihe mit dem ersten Kondensator (CA) geschaltet ist, und eine Diode (DB) aufweist, die zwischen einem Anschluss des zweiten Kondensators (CB) auf der Seite einer Induktivität (L) und der Masse geschaltet ist, so dass ein Freilaufstrom der Induktivität zu den Piezostapeln zum Fließen gebracht wird. In der Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung wird ein Schalter (SA) wiederholt ein- und ausgeschaltet, um allmählich die Piezostapel aus den zwei Kondensatoren (CA, CB) zu laden, wobei die Steuerbarkeit der Energie verbessert wird. Erfindungsgemäß kann die zum Laden erforderliche Zeit ohne Vergrößerung der Gleichspannungsversorgung verringert werden.



**DE 102 45 135 A 1**

**DE 102 45 135 A 1**

[0001] Die Erfindung betrifft eine Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung und genauer eine Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung für ein Fahrzeug-Kraftstoffeinspritzsystem.

[0002] Ein Piezobetätigungsglied verwendet den piezoelektrischen Effekt eines piezoelektrischen Materials wie PZT, bei dem ein Piezostapel als kapazitives Element durch Ladung oder Entladung sich ausdehnen kann (expandieren) oder sich zusammenziehen (kontrahieren) kann, wodurch ein Kolben linear bewegt werden kann. Beispielsweise ist ein Kraftstoffeinspritzgerät für eine Brennkraftmaschine, das ein Piezobetätigungsglied zum Schalten eines Ein-/Aus-Ventils einer Einspritzeinrichtung für eine Kraftstoffeinspritzung bekannt. Bei diesem Gerät werden eine Antriebskraft, die auf einen Ventilkörper zum Schalten eines Ein-/Aus-Ventils agiert, und eine Hubgröße des Ventilkörpers unter Verwendung einer Ladungsgröße eines Piezostapels eingestellt.

[0003] Die JP-A-10-308542 schlägt ein Gerät zum Laden eines Piezostapels über eine Induktivität vor, um einen Strom aus einem durch einen Gleichstromwandler geladenen Kondensator zu beschränken. Dieses Gerät ist mit einem ersten Leitungsweg, durch den der Fluss eines Ladestroms in dem Piezostapel über die Spule aus dem Kondensator ermöglicht wird, als auch mit einem zweiten Leitungsweg versehen, durch den der Fluss eines Ladestroms in dem Piezostapel mit einer in der Spule gespeicherten Energie ermöglicht wird, wenn der Kondensator von der Spule durch Ausschalten eines Schaltelements getrennt wird, wobei dem Piezostapel eine Ladung in dem Kondensator in kleinen Größen durch wiederholtes Ein- und Ausschalten des Schaltelements zugeführt werden kann (erstes Beispiel aus dem Stand der Technik).

[0004] Weiterhin offenbart die JP-T-2000-506950 ein Gerät, das derart angeordnet ist, dass ein Piezostapel über eine Induktivität aus Kondensatoren auf einen Schlag durch einen Resonanzeffekt der Induktivität und der Kondensatoren geladen werden kann. In diesem Gerät ist ein Schalter zum Starten eines Ladevorgangs, der zwischen dem Kondensator und der Induktivität vorgesehen ist, aus einem Thyristor mit einer Vorwärtsrichtung aufgebaut, die dieselbe wie die Richtung von dem Kondensator zu der Induktivität ist. Nach Übertragung einer Ladung in dem Piezostapel auf einen Schlag durch den Resonanzeffekt, arbeitet der Thyristor zur Vermeidung eines rückwärtsfließenden Stroms, wodurch der Ladevorgang automatisch gestoppt werden kann.

[0005] Bei den Kondensatoren sind zwei Kondensatoren in Reihe geschaltet. Der Ladekondensator auf der Masseseite wird durch eine geschaltete Energieversorgung geladen. Der Sperrkondensator auf der Induktivitätsseite wird vorab geladen. Ein zwischen einem Anschluss des Sperrkondensators auf der Ladekondensatorseite und der Masse wird in Bezug auf einen Kontraktionsbefehl des Piezostapels eingeschaltet, und dann wird elektrische Ladung aus dem Piezostapel durch den Sperrkondensator entzogen (zweites Beispiel aus dem Stand der Technik).

[0006] Das erste Beispiel aus dem Stand der Technik erfordert eine höhere Spannung zwischen Anschlüssen des Kondensators als eine Sollspannung des Piezostapels. Jedoch ist, wenn eine Spannung zwischen den Anschlüssen sich über der Sollspannung befindet, viel Zeit zum Laden erforderlich, weshalb eine unzureichende Ladeeffizienz bereitgestellt wird. Dabei ist im Übrigen ein Gleichspannungswandler erforderlich, der eine hohe Spannung ausgeben kann.

[0007] Das zweite Beispiel aus dem Stand der Technik be-

nötigt ein Gerät, das in der Lage ist, ausreichend Strom zum Laden des Piezostapels auf einen Schlag fließen zu lassen, weshalb die Form der Induktivität vergrößert ist.

[0008] Zusätzlich muss bei dem Versuch, das Laden des Piezostapels auf halber Strecke zu beenden, ein Leitungsweg davon zwangsweise ausgeschaltet werden, wobei der Strom durch die Induktivität fließt. Daher kann das Gerät im Wesentlichen das Laden nicht zu einem gewünschten Zeitverlauf stoppen, und es hat eine unzureichende Flexibilität bei der Ladungssteuerung des Piezostapels und weist nicht notwendigerweise eine ausreichende Genauigkeit zur Steuerung einer Ladungsgröße auf.

[0009] Die Erfindung wurde in Bezug auf die vorstehend beschriebenen Tatsachen gemacht, und ihr liegt die Aufgabe zugrunde, eine Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung zu schaffen, die eine gute Ladeeffizienz erzielen kann, selbst wenn eine Ausgangsspannung eines Gleichspannungswandlers sich über der Sollspannung des Piezostapels befindet, und eine genaue Ladesteuerbarkeit zu erzielen.

[0010] Diese Aufgabe wird durch eine Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung gemäß dem Patentanspruch 1 und alternativ durch eine Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung gemäß dem Patentanspruch 7 gelöst.

[0011] Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0012] Zur Lösung der vorstehend genannten Aufgabe wird gemäß einer ersten Ausgestaltung der Erfindung eine Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung geschaffen mit einer Gleichspannungsversorgung, einem ersten Kondensator, der parallel mit der Gleichspannungsversorgung geschaltet ist und durch die Gleichspannungsversorgung geladen wird, Piezobetätigungsgliedern, Piezostapeln, die jeweils in den Piezobetätigungsgliedern enthalten sind, einem Leitungsweg, der den ersten Kondensator und die Piezostapel verbindet, einer Steuerungseinheit, einer Induktivität, die an einem Zwischenpunkt in dem Leitungsweg vorgesehen ist, einer ersten Schalteinheit, die an einem Zwischenpunkt in dem Leitungsweg vorgesehen ist, wobei die erste Schalteinheit den ersten Kondensator und die Induktivität unter der Steuerung der Steuerungseinheit voneinander trennt und miteinander verbindet, einem zweiten Kondensator, der vorgesehen ist und in Reihe mit dem ersten Kondensator zwischen der ersten Schalteinheit und der Induktivität geschaltet ist, und einer Diode, die zur Verbindung eines Anschlusses des zweiten Kondensators auf der Seite der Induktivität und der Masse vorgesehen ist, wobei die Diode eine Durchlassrichtung aufweist, die dieselbe wie eine Richtung ist, in der ein Ladestrom aus der Induktivität in die Piezostapel über die Diode fließt, und die Steuerungseinheit zum wiederholten Ein- und Ausschalten der ersten Schalteinheit in Reaktion auf einen Piezostapелеxpansionsbefehl eingerichtet ist, um die Piezostapel zu laden.

[0013] Gemäß der Erfindung ist die Induktivität nicht vergrößert, da den Piezostapeln in dem Kondensator gespeicherte Energie in geringen Größen zugeführt werden kann, in dem die Schalteinheit ein- und ausgeschaltet wird. Außerdem kann eine Ausgangsspannung der Gleichspannungsversorgung beschränkt werden, während eine an den Anschluss der Induktivität auf der Seite des zweiten Kondensators anzulegende Spannung durch eine Größe einer Spannung zwischen den Anschlüssen des zweiten Kondensators gesichert werden kann.

[0014] Zusätzlich ist es möglich, eine Zufuhrmenge von Energie in Abhängigkeit von der Anzahl, wie oft die Schalteinheit ein- und ausgeschaltet wird, frei zu steuern, da eine steuerbare minimale Energieeinheit durch die dem Piezostapel zugeführte Energie definiert ist, in dem die Schalteinheit zu einem Zeitpunkt ein- und ausgeschaltet wird.

[0015] Für eine zweite vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung wird berücksichtigt, dass weiterhin in einem Fall, in dem der Kondensator zu dem Zeitpunkt der Piezostapelkontraktion entladene Energie aufnimmt, eine hohe Spannung zwischen den Anschlüssen des Kondensators zu einer unzureichenden Entnahmeeffizienz führen kann, was somit dementsprechend zu einer Wärmeerzeugung führt. Daher ist es notwendig, Teile einer derartigen Antriebsschaltung in Betracht des Wärmewiderstands und Temperaturcharakteristiken auszuwählen und auszuwählen.

[0016] Gemäß dieser zweiten Ausgestaltung der Erfindung soll daher eine Piezobestätigungsgliedantriebsschaltung geschaffen werden, die die vorstehend beschriebene Aufgabe der Erfindung lösen kann und zusätzlich Energie effizient aus dem Piezostapel in den Kondensator aufzunehmen.

[0017] Gemäß dieser zweiten Ausgestaltung der Erfindung weist daher die Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung weiterhin auf: einen Leitungsweg, der zur Umgehung des ersten Kondensators und der ersten Schalteinheit und zur Verbindung eines Anschlusses des zweiten Kondensators auf der Seite der ersten Schalteinheit mit der Masse vorgesehen ist, eine zweite Schalteinheit, die parallel zu der Diode geschaltet ist, und eine dritte Schalteinheit, die zum Öffnen und Schließen des Leitungswegs vorgesehen ist, wobei die Steuerungseinheit als eine Steuerungseinheit zur Steuerung der zweiten Schalteinheit und der dritten Schalteinheit als auch der ersten Schalteinheit verwendet wird, und die Steuerungseinheit eingerichtet ist, auf einen Piezostapelkontraktionsbefehl und zum Ausschalten der ersten Schalteinheit zu reagieren, die dritte Schalteinheit einzuschalten und die zweite Schalteinheit wiederholt ein- und auszuschalten, wodurch veranlasst wird, dass die Piezostapel zu dem zweiten Kondensator hin entladen werden.

[0018] Für eine Periode, während der die zweite Schalteinheit sich in einem eingeschalteten Zustand befindet, wird ein allmählich ansteigender Strom aus dem Piezostapel zur Masse über die Induktivität und die zweite Schalteinheit zum Fließen gebracht, und die Energie in dem Piezostapel wird teilweise in magnetischer Energie der Induktivität umgewandelt. Für eine Periode, während der die zweite Schalteinheit sich in einem ausgeschalteten Zustand befindet, fließt ein Freilaufstrom in den zweiten Kondensator aus der Induktivität. Somit wird die Energie des Piezostapels durch den zweiten Kondensator entnommen.

[0019] Wenn Energie entnommen wird, ist ein Anschluss des zweiten Kondensators auf der Seite des ersten Kondensators geerdet, so dass ein Potenzial an dem Anschluss des zweiten Kondensators auf der Seite der Induktivität niedriger als der in der Aufladungssteuerung in Reaktion auf einen Piezostapelexpansionsbefehl wird, wobei die Effizienz bei der Entnahme der Energie verbessert wird, anstelle dass die Energie des Piezostapels entnommen wird, wenn der zweite Kondensator in Reihe mit dem ersten Kondensator geschaltet ist.

[0020] Für eine dritte Ausgestaltung der Erfindung wird darüber hinaus berücksichtigt, dass eine Spannung zwischen den Anschlüssen des Kondensators zur Steuerung einer Ladungsgröße des Piezostapels und zur Durchführung einer Ladungssteuerung auf der Grundlage der erfassten Spannung erfasst wird, wie in dem Fall des ersten Beispiels aus dem Stand der Technik. In einem Fall, in dem der Kondensator oder der Piezostapel eine große Kapazität aufweist, ist jedoch eine Spannungsänderung kleiner, selbst mit derselben Größe einer Energieübertragung, was zu einer unzureichenden Erfassungsgenauigkeit führt.

[0021] Daher soll gemäß der dritten Ausgestaltung der Erfindung eine Piezobestätigungsantriebsschaltung geschaffen

werden, die die vorstehend beschriebene Aufgabe lösen kann und weiterhin eine gute Genauigkeit zur Erfassung einer Energieänderungsgröße in dem Kondensator oder dem Piezostapel aufweist.

[0022] Daher ist gemäß dieser dritten Ausgestaltung in der Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung die Steuerungseinheit eingerichtet, auf einen Piezostapelexpansionsbefehl zu reagieren und die erste Schalteinheit in einen ausgeschalteten Zustand festzuhalten, wenn ein Potenzial an dem Anschluss des zweiten Kondensators auf der Seite der Induktivität einen vorbestimmten Wert erreicht.

[0023] Da ein Anschlusspotenzial des zweiten Kondensators auf der Seite der Induktivität niedrig wird, wenn der erste Kondensator und der zweite Kondensator eine hohe Menge an Energie dem Piezostapel zuführt, und hoch wird, wenn der erste Kondensator und der zweite Kondensator eine geringe Energiemenge zu den Piezostapeln zuführen, kann das Anschlusspotenzial des zweiten Kondensators auf der Seite der Induktivität als ein Maß für Energie verwendet werden, die dem Piezostapel zugeführt worden ist. Dabei ändert sich, je kleiner die Kapazität des zweiten Kondensators ist, desto schärfer eine Spannung zwischen den Anschlüssen des zweiten Kondensators in Abhängigkeit von der den Piezostapeln zugeführten Energiegröße, weshalb um so genauer die Größe der Energie geregelt werden kann.

[0024] In der Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung wird die Steuerungseinheit als eine Steuerungseinheit zur Steuerung der Gleichspannungsversorgung verwendet, und die Steuerungseinheit ist eingerichtet, eine Ladungsmenge des ersten Kondensators, der durch die Gleichspannungsversorgung geladen wird, derart zu erhöhen und zu verringern, dass eine Änderung in einer Spannung zwischen den Anschlüssen des zweiten Kondensators vor und nach der Entladung der Piezostapel im Ansprechen auf einen Piezostapelkontraktionsbefehl ein vorbestimmter Referenzwert wird.

[0025] Da eine aus dem Piezostapel durch den zweiten Kondensator entnommene Ladungsmenge derart reguliert wird, dass sie sich auf einem Referenzwert befindet, kann der Piezostapel eine korrekte Energiemenge des zweiten Kondensators empfangen, wenn der Piezostapel aufgeladen wird, weshalb eine Energiemenge des Piezostapels mit hoher Genauigkeit gesteuert werden kann.

[0026] Für eine vierte vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung wird berücksichtigt, dass in dem Fall des ersten Beispiels aus dem Stand der Technik, bei dem Energie in kleinen Größen abgegeben wird, ein durch die Induktivität fließender Strom nicht zu einem Zeitpunkt gesteuert werden kann, wenn der Piezostapel dessen Solldadungsgröße erreicht hat, wobei Energie entsprechend der Größe des Stroms in dem Piezostapel übertragen wird, wodurch ein Fehler in der Ladungsgröße erzeugt wird.

[0027] Gemäß einer vierten Ausgestaltung der Erfindung soll daher eine Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung geschaffen werden, die die vorstehend beschriebene Aufgabe der Erfindung lösen kann, und weiterhin eine gute Steuerbarkeit für Energie aufweist.

[0028] Gemäß dieser vierten Ausgestaltung weist die Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung weiterhin auf: Abtrenn-Schalteinheiten, die zum Abtrennen der Piezostapel von dem Leitungsweg vorgesehen sind, und eine Diode, die zur Verbindung eines Anschlusses des ersten Kondensators auf der Seite der Schalteinheit, die zum Abtrennen und Verbinden des ersten Kondensators und der Induktivität vorgesehen ist, mit einem Anschluss der Induktivität auf der Seite der Piezostapel vorgesehen ist, wobei die Diode eine derartige Richtung aufweist, dass eine Spannung zwischen den Anschlüssen des ersten Kondensators eine Sperrspan-

nung wird, wobei die Steuerungseinheit als eine Steuerungseinheit zur Steuerung der Abtrenn-Schalteneinheit verwendet wird, und die Steuerungseinheit eingerichtet ist, die Abtrenn-Schalteneinheit auszuschalten und die Piezostapel von dem Leitungsweg abzutrennen, wenn die Aufladung der Piezostapel abgeschlossen ist.

[0029] Durch Ausschalten der Schalteneinheit und Ausschalten der Abtrenn-Schalteneinheit zum Trennen des Piezostapels von dem Leitungsweg gelangt ein durch die Induktivität zu diesem Zeitpunkt fließender Strom durch eine Entnahmediode und wird durch den ersten Kondensator entnommen, wodurch der Verlust verringert werden kann. Es ist ebenfalls möglich, ein Laden des Piezostapels aufgrund eines Freilaufstroms, der durch die Induktivität nach Ausschalten der Schalteneinheit fließt, zu vermeiden, weshalb eine Ladungsgröße des Piezostapels korrekt unter Verwendung einer Zeitperiode gesteuert werden kann, während der die Schalteneinheit sich in einem ausgeschalteten Zustand befindet.

[0030] Für eine fünfte vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung wird berücksichtigt, dass in dem Fall des zweiten Beispiels aus dem Stand der Technik der Sperrkondensator mit dem Ladekondensator in Reihe geschaltet ist, um durch den Gleichspannungswandler geladen zu werden, was die Schaltung verkompliziert. Beispielsweise ist eine Schaltung ausschließlich zum Laden getrennt erforderlich.

[0031] Daher soll gemäß der fünften Ausgestaltung eine Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung geschaffen werden, die die vorstehend beschriebene Aufgabe der Erfindung lösen kann und zusätzlich einen einfachen Aufbau ohne ein derartiges Problem beim Laden des Sperrkondensators aufweist.

[0032] Gemäß der fünften Ausgestaltung der Erfindung weist die Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung weiterhin auf: einen Leitungsweg, der zur Umgehung des ersten Kondensators und der ersten Schalteneinheit und zur Verbindung eines Anschlusses des zweiten Kondensators auf der Seite der ersten Schalteneinheit mit der Masse vorgesehen ist, eine zweite Schalteneinheit, die parallel zu der Diode geschaltet ist, und eine dritten Schalteneinheit, die zum Öffnen und Schließen des Leitungswegs vorgesehen ist, wobei die Steuerungseinheit als eine Steuerungseinheit zur Steuerung der zweiten Schalteneinheit und der dritten Schalteneinheit als auch der ersten Schalteneinheit verwendet wird, und die Steuerungseinrichtung eingerichtet ist, durchzuführen: einen ersten Schritt einer Aktivierungssteuerung einschließlich Einschalten der ersten Schalteneinheit, wobei die zweite Schalteneinheit und die dritte Schalteneinheit in einem ausgeschalteten Zustand sind, zu einem Zeitpunkt der Aktivierung eines Geräts zum Laden der Piezostapel, einen zweiten Schritt der Aktivierungssteuerung, der dem ersten Schritt der Aktivierungssteuerung nachfolgt, einschließlich Ausschalten der ersten Schalteneinheit und Einschalten der dritten Schalteneinheit, um eine Entladung des zweiten Kondensators zu bewirken, und einen dritten Schritt der Aktivierungssteuerung, der dem zweiten Schritt der Aktivierungssteuerung nachfolgt, einschließlich Einschalten der dritten Schalteneinheit und wiederholtes Ein- und Ausschalten der zweiten Schalteneinheit, um ein Entladen der Piezostapel zu dem zweiten Kondensator hin zu bewirken.

[0033] Die Gleichspannungsversorgung kann zum Laden des zweiten Kondensators als auch des ersten Kondensators verwendet werden, was einen vereinfachten Aufbau ohne den Bedarf zum Einschließen einer zusätzlichen Energiequelle ermöglicht, die zum Laden des zweiten Kondensators benötigt wird.

[0034] Für eine sechste Ausgestaltung der Erfindung wird berücksichtigt, dass eine in dem Kondensator oder in dem

Piezostapel verbleibende Ladung, wenn sich das Gerät nicht in normalen Betriebszuständen befindet, einen Fehler in der Ladungsgröße verursachen kann, und ebenfalls zusätzliche Verarbeitungen wie beispielsweise, dass zunächst bestätigt werden muss, ob Ladung vorhanden ist oder nicht, und eine dementsprechende Entladung beispielsweise bei Ausführung einer Wartung einschließen kann.

[0035] Daher soll gemäß der sechsten Ausgestaltung der Erfindung eine Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung bereitgestellt werden, die die Aufgabe der Erfindung lösen kann und weiterhin eine Restladung vermeiden kann.

[0036] Gemäß der sechsten Ausgestaltung der Erfindung weist die Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung gemäß der Erfindung auf: eine Gleichspannungsversorgung, einen ersten Kondensator, der parallel mit der Gleichspannungsversorgung geschaltet ist und durch die Gleichspannungsversorgung geladen wird, Piezobetätigungsglieder, Piezostapel, die jeweils in den Piezobetätigungsgliedern enthalten sind, einen Leitungsweg, der den ersten Kondensator und die Piezostapel verbindet, eine Induktivität, die an einem Zwischenpunkt in dem Leitungsweg vorgesehen ist, eine Schalteneinheit, die an einem Zwischenpunkt in dem Leitungsweg vorgesehen ist, wobei die Schalteneinheit den ersten Kondensator und die Induktivität voneinander trennt und miteinander verbindet, und einen Widerstand, der parallel zu den Piezostapeln geschaltet ist.

[0037] Der Piezostapel entlädt entsprechend einer Zeitkonstanten, die von einem Widerstandswert des Widerstands und einer Kapazität des Piezostapels abhängt. Es ist möglich, Restladungen und Ladungsaufbau aufgrund von Temperaturänderungen in den Piezostapel zu vermeiden, die einen Fehler in der Energie erzeugen würden, da ein Entladungsweg für den Piezostapel gesichert ist. Zusätzlich können Vorgänge zur Beseitigung der Restladung in dem Piezostapel beispielsweise bei einer Wartung entfallen. Während die Entladung des Piezostapels selbst dann stattfindet, wenn sich das Piezobetätigungsglied in einem Expansionszustand befindet, kann eine Ladungsgröße des Piezostapels und ein Widerstandswert des Widerstands im Hinblick auf eine Zeit eingestellt werden, während der das Piezobetätigungsglied seinen notwendigen Expansionszustand und dergleichen beibehalten muss.

[0038] Die Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung weist weiterhin auf: einen zweiten Kondensator, der vorgesehen ist und in Reihe mit dem ersten Kondensator zwischen der ersten Schalteneinheit und der Induktivität geschaltet ist, eine Diode, die zur Verbindung eines Anschlusses des zweiten Kondensators auf der Seite der Induktivität und der Masse vorgesehen ist, wobei die Diode eine Durchlassrichtung aufweist, die dieselbe wie eine Richtung ist, in der ein zum Laden der Piezostapel verwendeter Ladestrom aus der Induktivität in die Piezostapel über die Diode fließt, einen Leitungsweg, der zur Verbindung eines Anschlusses des zweiten Kondensators auf der Seite der Schalteneinheit mit der Masse vorgesehen ist, eine zweite Schalteneinheit, die parallel zu der Diode geschaltet ist, und eine weitere Schalteneinheit, die zum Öffnen und Schließen des Leitungswegs vorgesehen ist, und eine Steuerungseinheit, die eingerichtet ist, wiederholt die Schalteneinheiten in zueinander entgegengesetzter Phase ein- und auszuschalten.

[0039] Wenn die Schalteneinheit sich in einem eingeschalteten Zustand befindet, fließt ein Strom durch einen Leitungsweg aus dem zweiten Kondensator durch die Induktivität zu dem Widerstand. Folglich wird Kondensatorenergie durch den Widerstand teilweise verbraucht, und werden Ladungen zu dem zweiten Kondensator übertragen. Wenn eine andere Schalteneinheit sich in einem eingeschalteten Zustand befindet, wird ein geschlossener Kreis, der den ersten Kondensa-

tor umgeht, gebildet und Ladungen in dem zweiten Kondensator werden zur Masse hin entladen. Die vorstehend beschriebenen Zustände werden wiederholt, wodurch Ladungsmengen des ersten Kondensators und des zweiten Kondensators auf null gebracht werden können.

[0040] Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung näher beschrieben. Es zeigen:

[0041] Fig. 1 ein Schaltbild einer Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel,

[0042] Fig. 2 ein Blockschaltbild eines Kraftstoffeinspritzgeräts gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel,

[0043] Fig. 3 eine Querschnittsansicht einer Einspritzeinrichtung eines Kraftstoffeinspritzgeräts gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel,

[0044] Fig. 4 Zeitverläufe, die einen Betriebszustand einer Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel darstellen,

[0045] Fig. 5 Zeitverläufe, die einen Betriebszustand der Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel darstellen,

[0046] Fig. 6 ein Schaltbild einer Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel,

[0047] Fig. 7 Zeitverläufe, die einen Betriebszustand der Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel darstellen, und

[0048] Fig. 8 Zeitverläufe, die einen Betriebszustand der Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel darstellen.

[0049] Nachstehend ist ein erstes Ausführungsbeispiel beschrieben.

[0050] In Fig. 1 ist ein Aufbau einer Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung gezeigt. Fig. 2 zeigt den Aufbau eines Common-Rail-Kraftstoffeinspritzgeräts einer Dieselmotorkraftmaschine. Fig. 3 zeigt den Aufbau einer Einspritzeinrichtung. Vor der Beschreibung der Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung ist das Kraftstoffeinspritzgerät beschrieben. Wie es in Fig. 2 gezeigt ist, sind so viele Einspritzeinrichtungen 1 entsprechend den einzelnen Zylindern vorgesehen wie es Zylinder in der Dieselmotorkraftmaschine gibt. In dieser Zeichnung ist lediglich eine dieser Einspritzeinrichtungen 1 veranschaulicht. Die Einspritzeinrichtung (Injektor) 1 ist derart angeordnet, dass sie mit Kraftstoff über eine Versorgungsleitung 45 von einer Common-Rail (gemeinsamen Kraftstoffleitung) 44 versorgt wird, und dass sie Kraftstoff in eine Verbrennungskammer jedes Zylinders zu einem Einspritzdruck einspritzt, der annähernd gleich einem Kraftstoffdruck innerhalb der Common-Rail 44 ist, der nachstehend als Common-Rail-Druck bezeichnet wird. Der Kraftstoff in einem Kraftstofftank 41 wird unter Druck gesetzt und in die Common-Rail 44 durch eine Hochdruckversorgungspumpe 43 eingeführt und darin bei hohem Druck gespeichert.

[0051] Der der Einspritzeinrichtung 1 aus der Common-Rail 44 zugeführte Kraftstoff wird für eine Hydraulikdrucksteuerung für die Einspritzeinrichtung 1 als auch zur Einspritzung in die Verbrennungskammer verwendet, wie es vorstehend beschrieben worden ist, und dann fließt der Kraftstoff zurück zu dem Kraftstofftank 41 aus der Einspritzeinrichtung 1 über eine Abflussleitung 46 bei einem niedrigen Druck.

[0052] Eine CPU (Zentralverarbeitungseinheit) 31 berechnet den Einspritzzeitverlauf und die Einspritzgröße des Kraftstoffs auf der Grundlage erfasster Signale wie eines Kurbelwinkels und gibt ein Einspritzsignal INJ und ein Zylindersignal zur Identifikation eines Zylinders, bei dem die

Einspritzung durchzuführen ist, zu einer Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung 2 entsprechend den Berechnungsergebnissen aus. Die Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung 2 treibt Piezobetätigungsglieder an, die in den einzelnen Einspritzeinrichtungen 1 eingebaut sind, um ein Einspritzen von Kraftstoff durch die Einspritzeinrichtungen 1 während einer gegebenen Periode zu bewirken.

[0053] Die Common-Rail 44 ist mit einem Drucksensor 32 versehen, der einen Common-Rail-Druck erfasst. Die CPU 31 steuert ein Regulationsventil 42 auf der Grundlage des erfassten Common-Rail-Drucks zur Regulierung einer Kraftstoffmenge, die unter Druck gesetzt ist und in die Common-Rail 44 eingeführt wird.

[0054] Wie es in Fig. 3 gezeigt ist, weist die Einspritzeinrichtung 1 die Form einer Stange auf und ist derart angebracht, dass dessen führendes Ende, das sich gemäß der Darstellung in der Fig. 3 an der unteren Seite befindet, in die Verbrennungskammer vorspringt. Die Einspritzeinrichtung 1 ist derart angeordnet, dass sie einen Düsenabschnitt 1A, einen Gegendrucksteuerungsabschnitt 1B und ein Piezobetätigungsglied 1C in der Reihenfolge von unten nach oben aufweist.

[0055] Innerhalb eines hülsenförmigen Körpers (Düsenkörpers) 104 des Düsenabschnitts 1a wird eine Nadel 121 verschiebbar in dessen rückwärtigen Endabschnitt gehalten. Die Nadel 121 wird auf einem ringförmigen Sitz 1041 gesetzt oder wird von dem ringförmigen Sitz 1041 abgehoben, der in einem führenden Endabschnitt des Düsenkörpers 104 gebildet ist. In einem umgebenden Freiraum 104 in dem führenden Endabschnitt der Nadel 121 wird Hochdruckkraftstoff aus der Common-Rail 44 über einen Hochdruckdurchlass 101 eingeführt und der eingeführte Kraftstoff wird durch eine Einspritzöffnung 103 eingespritzt, wenn die Nadel 121 abgehoben ist. Die Nadel 121 weist eine ringförmige gestufte Oberfläche 1211 auf, an der ein Kraftstoffdruck aus dem Hochdruckdurchlass 101 in der abhebenden Richtung, d. h. aufwärts agiert.

[0056] Hinter der Nadel 121 ist eine Gegendruckkammer 106 zur Erzeugung eines Gegendrucks auf die Nadel 121 ausgebildet, in die Kraftstoff als Steuerungöl über eine Einlassmündung 107 aus dem Hochdruckdurchlass 101 eingeführt wird. Dieser Gegendruck agiert auf der rückwärtigen Endoberfläche 1212 der Nadel 121 in Sitzrichtung, d. h. abwärts, zusammen mit einer Feder 122, die in der Gegendruckkammer 106 angeordnet ist.

[0057] Der Gegendruck wird durch den Gegendrucksteuerungsabschnitt 1B erhöht und verringert. Der Gegendrucksteuerungsabschnitt 1B wird durch das Piezobetätigungsglied 1C mit dem Piezostapel 127 angesteuert.

[0058] Die Gegendruckkammer 106 kommuniziert stets mit einer Ventilkammer 110 des Gegendrucksteuerungsabschnitts 1B über eine Auslassmündung 109. Die Ventilkammer 110 ist in einer konischen Form mit einer Deckenebene 1101 mit einer aufwärts gerichteten Neigung geformt. In der Oberseite der Deckenebene 1101 ist ein Niederdruckanschluss 110A geöffnet, der mit einer Niederdruckkammer 111 kommuniziert. Die Niederdruckkammer 111 kommuniziert mit einem Niederdruckdurchlass 102, der zu der Abflussleitung 46 führt. In der unteren Fläche der Ventilkammer 110 ist ein Hochdruckanschluss 110B geöffnet, der mit dem Hochdruckdurchlass 101 über einen Hochdrucksteuerungsdurchlass 108 kommuniziert.

[0059] In der Ventilkammer 110 ist eine Kugel 123 angeordnet, deren unterer Abschnitt horizontal weggeschnitten ist. Die Kugel 123 ist ein Ventilkörper, der aufwärts und abwärts bewegt werden kann. Wenn die Kugel 123 sich abwärts bewegt, setzt sie sich mit der vorstehend beschriebenen abgeschnittenen Fläche auf der unteren Fläche 1102 der

Ventilkammer, die als Ventilsitz (der nachstehend als hochdruckseitiger Sitz bezeichnet ist) verwendet wird und schließt den Hochdruckanschluss 110B ab, wodurch die Ventilkammer 110 von dem Hochdrucksteuerungsdurchlass 108 abgeschnitten wird. Wenn die Kugel 123 sich aufwärts bewegt, setzt sie sich an die vorstehend beschriebene Dekkenebene 1101, die als Ventilsitz (der nachstehend als niederdruckseitiger Sitz bezeichnet ist) verwendet wird, und schließt den Niederdruckanschluss 110A ab, wodurch die Ventilkammer 110 von der Niederdruckkammer 111 abgeschnitten wird. Somit kommuniziert, wenn die Kugel 123 sich in der unteren Position befindet, die Gegendruckkammer 106 mit der Niederdruckkammer 111 über die Auslassmündung 109 und die Ventilkammer 110, so dass ein Gegendruck in der Nadel 121 verringert wird und sich die Nadel 121 abhebt. Im Gegensatz dazu wird, wenn die Kugel 123 sich in der oberen Position befindet, die Gegendruckkammer 106 von der Niederdruckkammer 111 abgeschnitten und kommuniziert lediglich mit dem Hochdruckdurchlass 101, so dass ein Gegendruck in der Nadel 121 sich erhöht und die Nadel 121 gesetzt wird.

[0060] Die Kugel 123 wird gedrückt und angetrieben durch das Piezobetätigungsglied 1C. Das Piezobetätigungsglied 1C weist eine längliche Öffnung 112, die in der vertikalen Richtung über der Niederdruckkammer 111 geformt ist, zwei Kolben 124 und 125 mit unterschiedlichen Durchmessern, die in der länglichen Öffnung 112 verschiebbar gehalten werden, und einen Piezostapel 127 auf, dessen Expansions- und Kontraktionsrichtungen mit der Auf- und Abwärtsrichtung zusammenfallen und der über den oberen Kolben 125 mit großem Durchmesser angeordnet ist.

[0061] Der Kolben 125 mit großem Durchmesser wird mit dem Piezostapel 127 durch eine Feder 126 in Kontakt gehalten, die unterhalb des Kolbens mit großem Durchmesser gehalten wird, und ist derart angeordnet, dass sie in die Auf- und Abwärtsrichtung durch dieselbe Größe wie die bei Expansion und Kontraktion des Piezostapels 127 versetzt wird.

[0062] In einem Raum, der von dem unteren Kolben mit kleinem Durchmesser 124 in entgegengesetzter Richtung von der Kugel 123, dem Kolben 125 mit großem Durchmesser und der länglichen Öffnung 112 abgegrenzt ist, ist eine Versatzvergrößerungskammer 113 geformt und mit Kraftstoff gefüllt. Wenn der Kolben 125 mit großem Durchmesser durch die Expansion des Piezostapels 127 nach unten versetzt wird, wird der Kraftstoff in der Versatzvergrößerungskammer 113 komprimiert, wodurch die Kompressionskraft auf den Kolben 124 mit kleinem Durchmesser über den Kraftstoff in der Versatzvergrößerungskammer 113 übertragen wird. Da der Kolben 124 mit kleinem Durchmesser einen kleineren Durchmesser als der Kolben 125 mit großem Durchmesser aufweist, wird eine Expansionsgröße des Piezostapels 127 vergrößert und in einem Versatz des Kolbens 124 mit kleinem Durchmesser umgewandelt. Bei Einspritzen von Kraftstoff wird der Piezostapel 127 zunächst zum Expandieren geladen, wodurch sich der Kolben 124 mit kleinem Durchmesser abwärts zum Herunterdrücken der Kugel 123 bewegt. Folglich wird die Kugel 123 von dem niederdruckseitigen Sitz 1101 abgehoben und auf den hochdruckseitigen Sitz 1102 gesetzt, um eine Kommunikation zwischen der Gegendruckkammer 106 mit dem Niederdruckdurchlass 102 zu erreichen, wodurch der Kraftstoffdruck in der Gegendruckkammer 106 verringert wird. Folglich dominiert die Kraft, die auf der Nadel 121 in der Abheberichtung wirkt, die Kraft, die in die Sitzrichtung wirkt, weshalb die Nadel 121 zum Start des Kraftstoffeinspritzens abgehoben wird.

[0063] Zum Stoppen des Kraftstoffeinspritzens bewirkt ein Entladen des Piezostapels 127, dass sich der Piezostapel

127 wieder zusammenzieht (kontrahiert), wodurch die Betätigungskraft, die auf der Kugel 123 wirkt, gelöst wird. Dabei agiert, da das Innere der Ventilkammer 110 sich auf einem niedrigen Druck befindet und die untere Fläche der Kugel 123 einen hohen Kraftstoffdruck aus dem Hochdrucksteuerungsdurchlass 108 empfängt, insgesamt ein aufwärtsgerichteter Kraftstoffdruck auf die Kugel 123. Dann wird die Kugel 123 von dem hochdruckseitigen Sitz 1102 durch Lösen der auf die Kugel 123 wirkenden Betätigungskraft entfernt, und die Kugel 123 wird erneut auf den niederdruckseitigen Sitz 1101 gesetzt. Folglich wird die Nadel 121 dadurch gesetzt, da der Kraftstoffdruck in der Ventilkammer 110 erhöht wird, so dass das Einspritzen beendet wird.

[0064] Unter Bezugnahme auf Fig. 1 ist die Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung 2 zum Laden und Entladen des Piezostapels 127 beschrieben. Zur Vereinfachung der Beschreibung ist der Piezostapel 127 als ein Piezostapel P1, ein Piezostapel P2, ein Piezostapel P3 und ein Piezostapel P4 entsprechend vier Zylindern dargestellt. Die Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung 2 weist einen Lade- und Entladeschaltungsabschnitt 20, einen Gleichspannungswandler 21, der eine Gleichspannungsversorgung ist, und eine Steuereinrichtung 22 auf, die eine Steuerungseinheit ist. Der Lade- und Entladungsschaltungsabschnitt 20 weist erste und zweite Kondensatoren CA und CB zum Anlegen von Spannungen an die Piezostapel P1 bis P4 auf, wobei die Kondensatoren derart angeordnet sind, dass sie ein funktionelles Haupt- und Untersystemverhältnis (Master und Slave) bilden. Der erste Kondensator CA ist mit einem Ausgang des Gleichspannungswandlers 21 verbunden. Der Gleichspannungswandler 21 ist eine Hochsetz-Chopper-Schaltung zum Heraufsetzen einer Spannung, die aus einer an einem Fahrzeug angebrachten Batterie B angelegt wird, um die Spannung an dem ersten Kondensator CA anzulegen.

[0065] Der erste Kondensator CA weist eine adäquat große Kapazität auf. Die Kapazität des zweiten Kondensators CB ist ausreichend kleiner als die des ersten Kondensators CA, und der zweite Kondensator CB ist in Reihe mit sowohl dem ersten Kondensator CA als auch dem Gleichspannungswandler 21 geschaltet. Der zweite Kondensator CB und der erste Kondensator CA sind miteinander über ein erstes Schaltelement SA verbunden, das eine erste Schaltungseinheit ist.

[0066] Das erste Schaltelement SA besteht aus einem MOSFET, dessen parasitäre Diode DA (die nachstehend in geeigneter Weise als erste parasitäre Diode bezeichnet ist) mit dem ersten Kondensator CA derart verbunden ist, dass eine Spannung zwischen beiden Anschlüssen des durch den Gleichspannungswandler 21 geladenen ersten Kondensators CA als Sperrspannung (invertierte Vorspannung) verwendet wird.

[0067] Außerdem ist der zweite Kondensator CB mit den Piezostapeln P1-P4 über eine Induktivität L verbunden, weshalb ein erster Leistungsweg W1 derart gebildet ist, dass die Piezostapel P1-P4 gespeist werden.

[0068] Weiterhin bildet die Induktivität L einen zweiten Leistungsweg W2. Dieser Leistungsweg W2 ist mit einem zweiten Schaltelement SB versehen, der eine zweite Schaltungseinheit ist, um ein Ende der Induktivität L auf der Seite des zweiten Kondensators CB mit der Masse zu verbinden. Der Leistungsweg W2 bildet einen geschlossenen Kreis einschließlich der Induktivität L, der Piezostapel P1-P4 und des zweiten Schaltelements SB. Das zweite Schaltelement SB ist ebenfalls aus einem MOSFET aufgebaut. Das zweite Schaltelement SB ist derart verschaltet, dass eine Durchlassrichtung von dessen parasitären Diode DB (die nachstehend in geeigneter Weise als zweite parasitäre Diode bezeichnet wird) dieselbe wie die Richtung ist, in der ein Ladestrom



durch die parasitäre Diode DB und dann durch die Induktivität L in die Piezostapel P1–P4 fließt.

[0069] Die Leitungswege W1 und W2 werden gemeinsam durch die einzelnen Piezostapel P1–P4 genutzt. Die anzusteuern bzw. anzutreibenden Piezostapel P1–P4 können wie nachstehend beschrieben ausgewählt werden. Die Piezostapel P1–P4 sind mit Schaltelementen SP1, SP2, SP3 und SP4 (die nachstehend in geeigneter Weise als Auswahl-schaltelemente bezeichnet werden) jeweils in Reihe geschaltet. Von den Auswahl-schaltelementen SP1–SP4 wird zu dem Zeitpunkt eines Einspritzens lediglich das mit den Piezostapeln P1–P4 verbundene Schaltelement entsprechend dem einspritzenden Zylinder eingeschaltet.

[0070] Jedes der einzelnen Auswahl-schaltelemente SP1–SP4 ist aus einem MOSFET aufgebaut und derart verschaltet, dass die Richtungen ihrer parasitären Dioden DP1, DP2, DP3 und DP4 (die nachstehend in geeigneter Weise als parasitäre Auswahl-dioden bezeichnet sind) entgegengesetzt zu den Richtungen sind, in denen der Ladestrom aus der Induktivität L zu den Piezostapeln P1–P4 jeweils fließt.

[0071] Ein Leitungsweg W3 ist zur Verbindung eines Anschlusses des zweiten Kondensators CB auf der Seite des ersten Schaltelements SA mit der Masse vorgesehen, und in dem Leitungsweg W3 sind ein drittes Schaltelement SC und eine Diode DE in Reihe geschaltet. Das Schaltelement SC ist aus einem MOSFET aufgebaut. Die parasitäre Diode DC des Schaltelements SC und die Diode DE sind derart verschaltet, dass sie zueinander entgegengesetzte Richtungen aufweisen, und zusätzlich ist die Diode DE derart eingestellt, dass deren Durchlassrichtung dieselbe wie die Richtung ist, in der ein Strom aus der Seite des zweiten Kondensators CB zu der Masse fließt.

[0072] Außerdem ist in dem Leitungsweg W3 die Diode DE in einer derartigen Richtung eingesetzt, dass eine Spannung zwischen beiden Anschlüssen des zweiten Kondensators CB eine Sperrspannung (invertierte Vorspannung) wird.

[0073] Weiterhin ist zwischen den Anschlüssen der Piezostapel P1–P4 auf der Seite der Induktivität L und der Masse eine Diode DG in einer derartigen Richtung vorgesehen, dass eine Spannung zwischen den Anschlüssen jedes Piezostapels P1–P4 zum Zeitpunkt einer Expansion eine Sperrspannung wird.

[0074] Die Schaltelemente SA, SB, SC und SP1–SP4 empfangen jeweils Steuerungssignale SWSA, SWSB, SWSC, SWS1, SWS2, SWS3 und SWS4 aus der Steuerungseinrichtung 22 an ihren Gates (Steuerungsanschlüssen). Die Steuerungseinrichtung 22 schaltet für die individuellen Schaltelemente SA–SP4 in geeigneter Weise ein bzw. aus.

[0075] Die Steuerungseinrichtung 22 erhält ein Potenzial VCBL an dem Anschluss des zweiten Kondensators CB auf der Seite der Induktivität L und eine Spannung VCBD zwischen den Anschlüssen des zweiten Kondensators CB. Eine Erfassungsschaltung 23 erfasst das Potenzial VCBL und die Spannung VCBD.

[0076] Beispielsweise ist ein der Steuerungseinrichtung 22 zugeführtes Einspritzsignal INJ ein binäres Signal mit logischen L- und H-Pegeln (niedrige und hohe Pegel). Die führende Flanke des Signals wird als Piezostapelexpansionsbefehl verwendet, und dessen nachlaufende Flanke wird als Piezostapelkontraktionsbefehl verwendet. Die Steuerungseinrichtung 22 gibt ein Schaltsignal DCSW für den Gleichspannungswandler 21 aus.

[0077] In Fig. 4 und 5 sind Zeitverläufe dargestellt, die Betriebszustände einzelner Teile der Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung 2 darstellen. Nachstehend ist die Funktion der Steuerungseinrichtung 22 und der Betrieb der Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung 2 beschrieben.

[0078] In den nachstehend beschriebenen Zeitverläufen

sind die in den einzelnen Abschnitten der Antriebsschaltung 2 beobachteten Signale mit den folgenden Bezugszeichen bezeichnet. SA, SB, SC, SP1, SP2, SP3 und SP4 zeigen jeweils eingeschaltete und ausgeschaltete Zustände der einzelnen Schaltelemente, wobei der hohe Pegel einen eingeschalteten Zustand angibt. VCAS ist ein Potenzial an dem Anschluss des ersten Kondensators CA an der Seite des Schaltelements SA. VCBL ist eine Spannung an dem Anschluss des zweiten Kondensators CB auf der Seite der Induktivität L. VCBS ist ein Potenzial an dem Anschluss des zweiten Kondensators CB auf der Seite des Schaltelements SA. VCBD ist eine Spannung zwischen den Anschlüssen des zweiten Kondensators CB. VP1L ist ein Potenzial an dem Anschluss des Piezostapels P1 auf der Seite der Induktivität L. IL ist ein Strom, der durch die Induktivität L fließt. IDF ist ein Strom, der durch die Diode DF gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel fließt.

[0079] VCAD ist eine Spannung zwischen den Anschlüssen des ersten Kondensators CA.

[0080] Nachstehend ist der Startvorgang beschrieben.

[0081] Wie es in dem linken halben Abschnitt in Fig. 4 dargestellt ist, werden der erste Kondensator CA und der zweite Kondensator CB zu dem Zeitpunkt der Aktivierung des Geräts vor dem Laden der Piezostapel P1–P4 geladen. Somit bringt ein Laden des ersten Kondensators CA und des zweiten Kondensators CB den Anschluss des ersten Kondensators CA auf der Seite des Schaltelements SA in Bezug auf die Masseseite auf ein höheres Potenzial. Gleichzeitig bringt dies den Anschluss des zweiten Kondensators CB auf der Seite der Induktivität L auf ein höheres Potenzial in Bezug auf den Anschluss auf der Seite des Schaltelements SA. Wenn das Schaltelement SA eingeschaltet wird, wird an den Anschluss der Induktivität L auf der Seite des zweiten Kondensators CB eine Spannung angelegt, die durch eine Addition einer Spannung zwischen den Anschlüssen des ersten Kondensators CA und einer Spannung zwischen den Anschlüssen des zweiten Kondensators CB erzeugt wird. Eine Spannung zwischen den Anschlüssen des ersten Kondensators CA wird derart eingestellt, dass sie etwas höher als die Soll-Ladungsspannungen der Piezostapel P1–P4 ist.

[0082] Nachstehend ist die Aktivierung des Geräts beschrieben.

[0083] Die Steuerungseinrichtung 22 ist eingestellt, Steuerungssignale zu dem ersten, dem zweiten und dem dritten Schaltelement SA, SB und SC sowie den Auswahl-schaltelementen SP1–SP4 beispielsweise in Reaktion auf eine Betätigung zum Einschalten des Zündschalters (Schlüsselschalters) der Brennkraftmaschine bei Aktivierung des Geräts auszugeben, wie es in der ersten Hälfte der Zeitverläufe gemäß Fig. 4 dargestellt ist. Dieser Vorgang verursacht, dass der erste Kondensator CA und der zweite Kondensator CB anfänglich geladen werden.

[0084] Diese Aktivierungssteuerung ist aus drei Steuerungsschritten zusammengesetzt. Zunächst werden in dem ersten Schritt der Aktivierungssteuerung alle Auswahl-schaltelemente SP1–SP4 und das erste Schaltelement SA eingeschaltet. Dieser Vorgang verursacht, dass der erste Kondensator CA und der zweite Kondensator CB sowie die Piezostapel P1–P4 geladen werden. Bei dem zweiten Kondensator CB befindet sich der Anschluss auf der Seite des Schaltelements SA auf einem höheren Potenzial als der Anschluss auf der Seite der Induktivität L während der Periode dieses ersten Schritts der Aktivierungssteuerung, im Gegensatz dazu, wenn das Laden der Piezostapel P1–P4 entsprechend einem Piezostapelexpansionsbefehl gesteuert wird.

[0085] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel überschreitet das Potenzial an dem Anschluss auf der Seite des Schaltelements SA nicht eine Spannung zwischen den Anschlüssen

des ersten Kondensators CA, da der zweite Kondensator CB in Reihe mit den Piezostapeln P1–P4 geschaltet ist. Zusätzlich kann, da die Kapazitäten des zweiten Kondensators CB und der Piezostapel P1–P4 Spannungen zwischen den Anschlüssen der Piezostapeln P1–P4 definieren, die Kapazität des zweiten Kondensators CB einen derartigen Wert annehmen, dass Ladungsspannungen der Piezostapel P1–P4 nicht zu einer Kompressionskraft führen können, die zum Abheben der Kugel 123 erforderlich ist. Zur Beschränkung der Ladungsspannungen der Piezostapel P1–P4 ist die Kapazität des zweiten Kondensators CB verringert. Der Bereich der Werte, die die Kapazität des zweiten Kondensators CB annehmen kann, wird durch Parallelschalten der Piezostapel P1–P4 zur Verringerung einer kombinierten Kapazität aller Piezostapel P1–P4 verbreitert.

[0086] Darauf folgend befindet sich in dem zweiten Schritt der Aktivierungssteuerung das dritte Schaltelement SC für eine vorbestimmte Zeitdauer in einem eingeschalteten Zustand. Dies bildet einen geschlossenen Kreis, der sich von dem zweiten Kondensator CB über die Dioden DE und DB erstreckt, und dann wird der zweite Kondensator CB entladen, um eine Spannung zwischen dessen Anschlüssen auf null zu bringen. Die Zeit, bis eine Spannung zwischen den Anschlüssen des zweiten Kondensators CB null erreicht, kann vorab auf der Grundlage einer Zeitkonstanten des vorstehend beschriebenen geschlossenen Kreises berechnet werden. Somit ist es vorteilhaft, die Zeit, während der dieses dritte Schaltelement SC sich in einem eingeschalteten Zustand befindet, länger als die berechnete Zeit einzustellen.

[0087] In dem dritten Schritt der Aktivierungssteuerung werden darauf folgend das zweite Schaltelement SB und das dritte Schaltelement SC wiederholt in entgegengesetzter Phase ein- und ausgeschaltet. Folglich werden die Piezostapel P1–P4 zu dem zweiten Kondensator CB hin entladen, wie in dem Fall der Steuerung der Entladungen der Piezostapel P1–P4 in Reaktion auf einen Piezostapelkontraktionsbefehl. Dies bringt den Anschluss des zweiten Kondensators CB auf der Seite der Induktivität L auf ein positives Potenzial und erhöht eine Spannung zwischen den Anschlüssen des zweiten Kondensators CB. Somit kann ein Ladezustand erreicht werden, der die Ladungssteuerung in Reaktion auf einen Piezostapelexpansionsbefehl ermöglicht, und eine die Versorgungskapazität des Gleichspannungswandlers 21 überschreitende Spannung kann an den Anschluss der Induktivität L auf der Seite des zweiten Kondensators CB in Reaktion auf einen Piezostapelexpansionsbefehl angelegt werden.

[0088] Was die Anzahl angeht, wie oft das zweite und das dritte Schaltelement SB und SC in diesem dritten Schritt der Aktivierungssteuerung ein- und ausgeschaltet werden, ist eine vorbestimmte feste Anzahl aufgrund des Effekts der Diode DG ausreichend genug, wie in dem vorstehend beschriebenen Fall der Steuerung der Entladungen in Reaktion auf einen Piezostapelkontraktionsbefehl.

[0089] Daher ist es möglich, die ausgewählten Piezostapel P1–P4 mit ausreichenden Spannungen in Reaktion auf einen Piezostapelexpansionsbefehl zu laden, ohne dass der Gleichspannungswandler 21 vergrößert werden müsste.

[0090] Weiterhin wird ein Ladezustand erzielt, in dem der zweite Kondensator CB ein positives Potenzial an dessen Anschluss auf der Seite der Induktivität L aufweist, indem einmal der zweite Kondensator CB und die Piezostapel P1–P4 geladen sowie später der zweite Kondensator CB entladen wird, sowie darauf folgend in den Piezostapeln P1–P4 gespeicherte Ladungen zu dem zweiten Kondensator CB übertragen werden, was den Bedarf nach einer zusätzlichen Schaltung zum Laden des zweiten Kondensators CB beseitigt. Daher kann der Aufbau des Geräts sehr einfach sein.

[0091] Nachstehend ist der Ladevorgang beschrieben.

[0092] Die Steuerungseinrichtung 22 ist derart eingerichtet, dass Steuerungssignale zu dem ersten Schaltelement SA und den Auswahlchaltelementen SP1–SP4 ausgegeben werden, wie sie in der letzteren Hälfte der Zeitverläufe gemäß Fig. 4 zum Zeitpunkt des Startens des Einspritzens, d. h. bei Empfang eines Piezostapelexpansionsbefehls gezeigt sind, wobei der ausgewählte Piezostapel geladen werden kann.

[0093] Beispielsweise wird in Reaktion auf einen Expansionsbefehl für den Piezostapel P1 das Auswahlchaltelement SP1 entsprechend dem Piezostapel P1 eingeschaltet und wird das erste Schaltelement SA wiederholt ein- und ausgeschaltet. Der rechte Halbabschnitt in Fig. 4 zeigt eine Ladezustand des Piezostapels P1. Für eine Zeitdauer, während der das erste Schaltelement SA sich in einem eingeschalteten Zustand befindet, wird ein allmählich ansteigender Ladestrom in den ausgewählten Piezostapel P1 aus dem ersten Kondensator CA und dem zweiten Kondensator CB, die mit dem Schaltelement SA in Reihe geschaltet sind, unter Verwendung des ersten Leitungswegs W1 zum Fließen gebracht. Für die nachfolgende Periode, während der das Schaltelement SA sich in einem ausgeschalteten Zustand befindet, wird ein allmählich abfallender Strom in den Piezostapel P1 in dem Leitungsweg W2 durch die parasitäre Diode DB, die die ersten und zweiten Kondensatoren CA und CB umgeht, zum Fließen gebracht, während die durch die Induktivität L gespeicherte Energie entsprechend der Größe eines Stroms verbraucht wird, der durch die Induktivität L am Ende der Einperiode des Schaltelements SA geflossen ist.

[0094] Der Zeitpunkt, zu dem das Schaltelement SA ausgeschaltet wird, liegt vor dem Zeitpunkt, zu dem ein durch die Induktivität L fließender Strom IL Sättigung erreicht. Das Schaltelement SA kann zu dem Zeitpunkt ausgeschaltet werden, wenn ein erfasster Strom von IL eine vorbestimmte obere Grenze von dessen Stromwert erreicht. Zusätzlich wird bezüglich des Zeitpunkts, zu dem die ausgeschaltete Periode zu der eingeschalteten Periode geschaltet wird, das Schaltelement SA zu einem Zeitpunkt eingeschaltet, wenn ein erfasster Strom von IL eine untere Grenze von dessen Stromwert erreicht, die etwa auf null gesetzt ist. Dafür ist eine Einheit 24 zur Erfassung eines durch die Induktivität L fließenden Stroms IL vorgesehen. Beispielsweise können Widerstände mit kleinen Widerstandswerten an einigen mittleren Punkten in den Leitungswegen W1 und W2 zum Erhalt von Informationen bezüglich eines Stroms IL anhand der Spannungen zwischen den Anschlüssen der Widerstände vorgesehen werden.

[0095] Die Ladung des Piezostapels P1 schreitet durch Wiederholung des Ein- und Ausschaltens des Schaltelements SA wie gezeigt voran, wodurch ein Potenzial VP1L an dem Anschluss des Piezostapels P1 auf der Seite der Induktivität L allmählich ansteigt. Im Gegensatz dazu werden die Spannungen zwischen den Anschlüssen der Kondensatoren CA und CB auf unter einen anfänglichen Spannungswert verringert, weshalb das Potenzial VCBL sich verringert.

[0096] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel ist die Kapazität des ersten Kondensators CA groß und ist die Kapazität des zweiten Kondensators CB klein, so dass das Potenzial VCBL sich stark ändert, während das Potenzial des ersten Kondensators CA keine größeren Änderungen zeigt. Wenn eine Ladungsgröße des zweiten Kondensators CB derart ist, dass eine Spannung zwischen den Anschlüssen des zweiten Kondensators CB sich nicht ins Negative zu dem Zeitpunkt ändert, wenn irgendeiner der Piezostapel P1–P4 mit Ladungsgrößen entsprechend von dessen Sollspannungen ge-



laden wird, ist es daher möglich, ein Potenzial oberhalb der Sollspannungen der Piezostapel P1-P4 an dem Anschluss der Induktivität L auf der Seite des Schaltelements SA bei der Ladung der Piezostapel P1-P4 zu gewährleisten.

[0097] Wenn das Potenzial VCBL einen gegebenen Wert erreicht, wird das Schaltelement SA in einem ausgeschalteten Zustand festgehalten, und wird dann das Auswahl-schalt-element SP1 ausgeschaltet, wodurch die Ladung abgeschlossen wird. Dabei wird das Auswahl-schalt-element SP1 zu dem Zeitpunkt ausgeschaltet, wenn ein durch die Induktivität L fließender Strom (der nachstehend in geeigneter Weise als L-Strom bezeichnet ist) einen unteren Grenzstrom davon erreicht, und danach wird der Strom derart betrachtet, als wenn er null geworden wäre. Dies liegt daran, dass das gleichzeitige Ausschalten des Schaltelements SP1 und des Schaltelements SA verursacht, dass ein durch die Induktivität L fließender Strom zu diesem Zeitpunkt überall hingehen kann.

[0098] Dieses Laden des Piezostapels P1 bringt den Piezostapel P1 in eine Expansion, wodurch die Kugel 123 durch die Versatzvergrößerungskammer 113 gedrückt und gehoben wird. Somit wird die Nadel 121 gehoben, wodurch das Einspritzen gestartet wird.

[0099] Nachstehend ist der Endladevorgang beschrieben.

[0100] Die Steuerungseinrichtung 22 gibt Steuerungssignale für das zweite Schaltelement SB und das dritte Schaltelement SC aus, wie es in der ersten, linken Hälfte der Zeitverläufe gemäß Fig. 5 dargestellt ist, um einen Entladung des Piezostapels P1 zu dem Zeitpunkt des Stoppens des Einspritzens, d. h. bei Empfang eines Piezostapelkontraktionsbefehls zu bewirken.

[0101] In Bezug auf den Piezostapelkontraktionsbefehl werden das zweite Schaltelement SB und das dritte Schaltelement SC in zueinander entgegengesetzten Phase wiederholt ein- und ausgeschaltet.

[0102] Für eine Zeitdauer, während der das zweite Schaltelement SB sich in einem eingeschalteten Zustand befindet, wird ein allmählich ansteigender Entladestrom aus dem Piezostapel P1 zur Masse über die Induktivität L und das Schaltelement SB unter Verwendung des zweiten Leitungswegs W2 zum Fließen gebracht. Während dieser Periode ist die Diode DE in den Leitungsweg W3 in einer derartigen Richtung eingefügt, dass eine Spannung zwischen beiden Anschlüssen des zweiten Kondensators CB eine Gegen-spannung wird, so dass der zweite Kondensator CB nicht entladen wird, wenn sich das Schaltelement SB in einem eingeschalteten Zustand befindet, da die Diode nicht rückwärts leitet.

[0103] Für die darauffolgende Periode, während der sich das dritte Schaltelement SC in einem eingeschalteten Zustand befindet, wird ein allmählich abfallender Freilaufstrom aus dem Piezostapel P1 durch die Induktivität L in den zweiten Kondensator CB, nämlich zur Masse hin, unter Verwendung des ersten Leitungswegs W1 zum Fließen gebracht.

[0104] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel wird wie bei dem Fall des Ladens die Einschaltperiode des zweiten Schaltelements SB auf die Einschaltperiode des dritten Schaltelements SC geschaltet, wenn ein erfasster Strom von IL den oberen Grenzwert erreicht, während die Einschaltperiode des Einschaltlements SC auf die Einschaltperiode des zweiten Schaltelements SB umgeschaltet wird, wenn der erfasste Strom von IL den unteren Grenzwert erreicht.

[0105] Die Ein-/Ausschaltvorgänge des zweiten Schaltelements SB und des dritten Schaltelements SC werden zu einem Zeitpunkt beendet, wenn die Entladung des Piezostapels P1 abgeschlossen ist. Der Zeitverlauf kann auf das Potenzial VCBL wie in dem Fall des Ladens basieren, oder

kann beispielsweise durch Erfassung einer Spannung zwischen den Anschlüssen des Piezostapels P1 bestimmt werden.

[0106] Dabei ist die Diode DG zwischen dem Anschluss des Piezostapels P1 auf der Seite der Induktivität L und der Masse in einer derartigen Richtung vorgesehen, dass eine Spannung zwischen den Anschlüssen des Piezostapels P1 zu dem Zeitpunkt der Expansion eine Sperrspannung wird, und die Diode DG verhindert, dass der Anschluss des Piezostapels P1 auf der Seite der Induktivität L ein niedrigeres Potenzial hat als auf der Seite des Auswahl-schaltlements SP1, so dass es nicht erforderlich ist, den Zeitverlauf mit einer hohen Genauigkeit zu bestimmen. Daher kann zur Vereinfachung die Anzahl, wie oft das zweite Schaltelement SB und das dritte Schaltelement SC bis zur Beendigung der Entladung des Piezostapels P1 in einem Extraktionszustand ein- und ausgeschaltet werden, geschätzt werden, so dass das zweite Schaltelement SB und das dritte Schaltelement SC zu dem Zeitpunkt in einem ausgeschalteten Zustand jeweils festgehalten werden, wenn die Anzahl des Ein-/Ausschaltens dieser Schaltelemente eine derartige Anzahl erreicht, dass die Entladung als abgeschlossen betrachtet werden kann.

[0107] Die Entladung des Piezostapels P1 verursacht die Kontraktion des Piezostapels P1, was eine Kompressionskraft löst, die auf die Kugel 123 aufgrund des Kraftstoffdrucks der Versatzvergrößerungskammer 113 wirkt, so dass die Kugel 123 gesetzt wird. Folglich wird die Nadel 121 zum Stoppen des Einspritzens gesetzt.

[0108] Danach werden in Reaktion auf Einspritzsignale INJ aus der CPU 31 die Piezostapel P1, P2, P3 und P4 entsprechend den Einspritzzylindern sequenziell der Lade- und Entladesteuerung wie vorstehend beschrieben unterzogen. Beispielsweise zeigt die rechte Hälfte der Fig. 5 die Ladung des Piezostapels P2.

[0109] Zusätzlich kann eine Spannung zwischen den Anschlüssen des zweiten Kondensators CB erfasst werden, um eine Schaltsteuerung des Gleichspannungswandlers 21 derart durchzuführen, dass eine Änderung in der erfassten Spannung zwischen den Anschlüssen vor und nach der Entladung der Piezostapel P1-P4 in Reaktion auf die Piezostapelkontraktionsbefehle ein vorbestimmter Referenzwert wird, und um eine Rückkopplungsregelung derart durchzuführen, dass eine Ladungsgröße des ersten Kondensators CA durch den Gleichspannungswandler 21 erhöht und verringert wird. Da die Spannung zwischen den Anschlüssen des Kondensators CB in diesem Fall unter einer Bedingung erhalten wird, in der das Schaltelement SA geerdet ist (auf Massepotenzial liegt), stellt eine derartige erfasste Spannung zwischen den Anschlüssen genau Ladungsgrößen dar, die aus den Piezostapeln P1-P4 durch den zweiten Kondensator CB entzogen werden. Daher kann der ausgewählte Piezostapel P1-P4 in der Energiegröße mit hoher Genauigkeit gesteuert werden, indem der Gleichspannungswandler 21 derart gesteuert wird, dass diese erfasste Spannung als Referenzwert verwendet wird.

[0110] Nachstehend ist ein zweites Ausführungsbeispiel beschrieben.

[0111] In Fig. 6 ist eine Piezobetätigungs-glied-Antriebs-schaltung gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel beschrieben. Diese Piezobetätigungs-glied-Antriebsschaltung 2A weist denselben grundsätzlichen Aufbau wie gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel auf, unterscheidet sich jedoch von der Piezobetätigungs-glied-Antriebsschaltung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel darin, dass sie eine Diode DF und einen Widerstand R aufweist sowie die Einstellung einer Steuerungseinrichtung 22A sich unterscheidet. Während die Piezobetätigungs-glied-Antriebsschaltung an dieser

Stelle im Hinblick auf die Unterschiede zwischen dem ersten und dem zweiten Ausführungsbeispiel beschrieben ist, sind gleiche Teile, die im Wesentlichen dieselben Funktionen wie gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel ausführen, durch dieselben Bezugszeichen wie gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel bezeichnet.

[0112] Die Diode DF ist zwischen einem Anschluss einer Induktivität L auf der Seite der Piezostapel P1-P4 und einem Anschluss eines ersten Kondensators CA auf der Seite eines ersten Schaltelements SA geschaltet. Die Diode DF weist eine Kathode auf der Seite des ersten Kondensators DA auf und verwendet eine Spannung zwischen den Anschlüssen des ersten Kondensators CA als deren Sperrspannung.

[0113] Der Widerstand R ist zwischen den Anschlüssen der Piezostapel P1-P4 auf der Seite der Induktivität L und der Masse geschaltet.

[0114] Auch gemäß diesem Ausführungsbeispiel erhält die Steuerungseinrichtung 22A Spannungen VP1D, VP2D, VP3D und VP4D zwischen den Anschlüssen der Piezostapel P1-P4 und bestimmt auf der Grundlage der empfangenen Spannungen zwischen den Anschlüssen, ob die Piezostapel jeweils deren Sollladungsgrößen erreicht haben. Diese Spannungen zwischen den Anschlüssen werden durch Erfassungsschaltungen 25, 26, 27 und 28 erfasst.

[0115] Fig. 7 und 8 zeigen Darstellungen zur Veranschaulichung von Betriebszuständen einzelner Teile der Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung 2A. Der Betrieb dieser Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung 2A als auch die Einstellung der Steuerungseinrichtung 22A ist nachstehend unter Bezugnahme auf Fig. 7 und 8 beschrieben.

[0116] Die Steuerungseinrichtung 22A führt im Wesentlichen dieselbe Steuerung wie die Steuerungseinrichtung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel aus, unterscheidet sich jedoch von der Steuerungseinrichtung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel in einer anderen Einstellung der Ladungssteuerung in Reaktion auf einen Piezostapelexpansionsbefehl und durch die Hinzufügung einer neuen Entladungssteuerung, wenn das Gerät gestoppt hat.

[0117] Nachstehend ist der Ladungsvorgang beschrieben.

[0118] Fig. 7 zeigt Zeitverläufe in dem Fall der Ladung des Piezostapels P1 in Reaktion auf einen Piezostapelexpansionsbefehl. In dieser Darstellung zeigt eine gepunktete Linie einen Signalverlauf in einem Fall, in dem die Diode DF nicht verwendet wird. Wenn das erste Schaltelement SA wiederholt ein- und ausgeschaltet wird, während ein Auswahlchaltelement SP in derselben Weise wie gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel in einen eingeschalteten Zustand gehalten wird, verringern sich ein Potenzial an dem Anschluss des ersten Kondensators CA auf der Seite der Induktivität L und ein Potenzial an dem Anschluss des zweiten Kondensators CB auf der Seite der Induktivität L allmählich, während eine Spannung zwischen den Anschlüssen des Piezostapels P1 allmählich ansteigt. Zusätzlich ist eine Spannung zwischen den Anschlüssen des ersten Kondensators CA derart eingestellt, dass sie gleich einer Sollspannung zwischen den Anschlüssen des Piezostapels P1 ist oder größer ist, so dass ein Strom aus dem zweiten Kondensator CB nicht durch die Diode DF zurückfließen kann.

[0119] Wenn eine Spannung zwischen den Anschlüssen des Piezostapels P1 eine Sollspannung  $V_{tg}$  zu einem Zeitpunkt  $t_1$  erreicht, werden das Schaltelement SA und das Auswahlchaltelement SP1 ausgeschaltet.

[0120] Zu diesem Zeitpunkt fließt, falls ein Strom durch die Induktivität L fließt (die Induktivität L speichert nämlich magnetische Energie), ein Freilaufstrom IDF durch die Diode DF in den ersten Kondensator CA, während die durch die Induktivität L gespeicherte magnetische Energie ver-

braucht wird, in einem geschlossenen Kreis, der sich durch die Induktivität L, die Diode DF, den ersten Kondensator CA und eine parasitäre Diode DB erstreckt.

[0121] Im Gegensatz dazu ist es in einem Fall, in dem die Antriebsschaltung SA keine Diode DF aufweist, es nicht geeignet, das Auswahlchaltelement SP1 während einer Periode auszuschalten, in der ein Strom durch die Induktivität L fließt, selbst falls das erste Schaltelement SA zu dem Zeitpunkt ausgeschaltet wird, wenn eine Spannung zwischen den Anschlüssen des Piezostapels P1 die Sollspannung erreicht, wie es gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel beschrieben ist. Folglich fließt ein durch die Induktivität L fließender Strom in den Piezostapel P1, wodurch eine Spannung zwischen den Anschlüssen des Piezostapels P1 in Bezug auf die Sollspannung übermäßig groß wird. Da diese übermäßige Spannungsgröße in Abhängigkeit von einer Temperaturbedingung des Geräts und dergleichen sich ändert, kann diese durch eine Offset-Korrektur oder dergleichen nicht vollständig beseitigt werden.

[0122] Demgegenüber wird bei dieser Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung 2A, selbst wenn das erste Schaltelement SA und das Auswahlchaltelement SP1 in einem ausgeschalteten Zustand gehalten werden, um eine Überladung des Piezostapels P1 zu einem Zeitpunkt zu vermeiden, wenn eine Spannung zwischen den Anschlüssen des Piezostapels P1 die Sollspannung erreicht, ein durch die Induktivität L fließender Strom durch die Diode DF durch den ersten Kondensator CA entnommen, so dass es möglich ist, eine Ladungskontrolle mit höherer Genauigkeit und Verbesserung ihres Energiewirkungsgrads zu verwirklichen.

[0123] Nachstehend ist ein Abschaltvorgang (shut down operation) beschrieben.

[0124] Fig. 8 zeigt Zeitverläufe, die Vorgänge in einem Fall des Abschaltens des Betriebs des Geräts veranschaulichen, beispielsweise wenn die Brennkraftmaschine abgeschaltet wird. Zunächst wird das erste Schaltelement SA eingeschaltet. Dies verursacht, dass ein Strom durch einen Stromweg fließt, der durch den ersten Kondensator CA, das erste Schaltelement SA, den zweiten Kondensator CB, die Induktivität L und den Widerstand R sich erstreckt. Durch den Widerstand R erzeugte Wärme (Joule-Wärme) verringert die in dem ersten Kondensator CA und den zweiten Kondensator CB gespeicherte Energie. Dabei tritt in dem zweiten Kondensator CB mit geringer Kapazität ein starker Spannungsabfall auf, und der Anschluss auf der Seite der Induktivität L wird in Bezug auf den Anschluss auf der Seite des Schaltelements SA elektrisch negativ.

[0125] Zu einem Zeitpunkt  $t_1$ , wenn das Potenzial VCBL null wird, wird das erste Schaltelement SA ausgeschaltet und wird das dritte Schaltelement SC eingeschaltet. Dies verursacht eine Entladung des zweiten Kondensators CB.

[0126] Darauf folgend wird zu einem Zeitpunkt  $t_2$  das dritte Schaltelement SC ausgeschaltet und wird das erste Schaltelement SA eingeschaltet. Dann erzeugt der Widerstand R Wärme (Joule-Wärme) und wird eine Spannung zwischen den Anschlüssen des ersten Kondensators CA weiter verringert, wodurch die Ladungen zu dem zweiten Kondensator CB übertragen werden. Somit verringert ein wiederholtes Ein- und Ausschalten des ersten Schaltelements SA und des dritten Schaltelements SC in zueinander entgegengesetzter Phase Spannungen zwischen den Anschlüssen jeweils des ersten Kondensators CA und des zweiten Kondensators CB, und beide werden null wie bei dem in Fig. 8 gezeigten Beispiel.

[0127] Somit ist es möglich, das Gerät abzuschalten, ohne dass in den Kondensatoren CA und CB sowie den Piezostapeln P1-P4 Ladung verbleibt, selbst wenn der ersten Kondensator CA und der zweite Kondensator CB, die in Reihe

geschaltet sind, eine unterschiedliche Ladungsgröße aufweisen. Folglich kann zusätzliche Arbeit zur Entladung der Kondensatoren CA und CB beispielsweise bei der Wartung entfallen.

[0128] Weiterhin werden die Piezostapel P1-P4 derart aufgeladen, dass ihre Anschlüsse auf der Seite der Induktivität L ein höheres Potenzial in Bezug auf die Anschlüsse auf der Seite der Auswahlchaltelemente SP1-SP4 aufweisen, so dass selbst dann, wenn Ladung darin verbleibt, die verbleibende Ladung durch den Widerstand R heraus zu der Masse fließen kann, da die Spannungen zwischen den Anschlüssen der Piezostapel P1-P4 vorwärts gerichtete Vspannungen in Bezug auf die parasitären Auswahlknoten DP1-DP4 werden können. Dies ermöglicht, dass die Ladungen in den Piezostapeln P1-P4 entweichen können, beispielsweise selbst in einem Fall, wenn Ladungen spontan durch Fluktuationen in der Temperatur in den Piezostapeln P1-P4 erzeugt worden sind.

[0129] Außerdem ist es möglich ein Verbleib von Ladungen in den Piezostapeln P1-P4 zu vermeiden, weshalb ein Fehler in der Aufladungssteuerung aufgrund der verbleibenden Ladung eingeschränkt werden kann.

[0130] Dabei tritt der Entladungseffekt des Widerstands R ebenfalls während der Einspritzung von Kraftstoff auf. Daher wird ein Widerstandswert des Widerstands R derart ausgewählt, dass der ausgewählte Piezostapel P1-P4 einen Expansionszustand während der längsten Einspritzzeitdauer beibehalten kann. Weiterhin werden, während Ladungen aufgrund von Temperaturänderungen und dergleichen in den Piezostapeln P1-P4 auftreten, diese Ladungen über den Widerstand R entladen. Da die Umgebungstemperatur langsam fluktuiert, kann eine ausreichend lange Zeit zur Entladung der Piezostapel P1-P4 im Vergleich zu der Zeit genommen werden, die zum Halten ihrer Expansionszustände erforderlich ist. Daher wird eine Zeitkonstante eines geschlossenen Kreises, der sich durch den Piezostapel P1-P4, den Widerstand R und das Auswahlchaltelement SP1-SP4 erstreckt, derart eingestellt, dass der Piezostapel P1-P4 seinen Expansionszustand ohne Probleme halten kann und keine Ladung aufgrund von Temperaturfluktuationen und dergleichen verbleibt.

[0131] Obwohl gemäß diesem Ausführungsbeispiel Ladungen in den Kondensatoren CA und CB durch wiederholtes Ein- und Ausschalten des ersten Schaltelements SA und des dritten Schaltelements SC entladen werden, ist die Erfindung nicht derart beschränkt, und derartige Ladungen können entladen werden, während die Stromwerte mit dem Widerstand R beschränkt werden.

[0132] Obwohl gemäß den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen die Anwendung in einem Kraftstoffeinspritzgerät beschrieben worden ist, kann die Erfindung auf eine Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung zum Antrieb eines Piezobetätigungsglieds angewandt werden, der für andere Anwendungen verwendet wird.

[0133] Obwohl die Erfindung in Zusammenhang mit deren bevorzugten Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung beschrieben worden ist, sei bemerkt, dass verschiedene Änderungen und Modifikationen für den Fachmann deutlich sind. Solche Änderungen und Modifikationen sind als in dem Umfang der in den beigefügten Ansprüchen definierten Erfindung als enthalten zu verstehen.

[0134] Vorstehend wurde eine Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung angegeben, die einen ersten Kondensator (CA), der durch eine Gleichspannungsversorgung (21) vor einem Laden von Piezostapeln (P1-P4) geladen wird, einen zweiten Kondensator (CB), der in Reihe mit dem ersten Kondensator (CA) geschaltet ist, und eine Diode (DB) auf-

weist, die zwischen einem Anschluss des zweiten Kondensators (CB) auf der Seite einer Induktivität (L) und der Masse geschaltet ist, so dass ein Freilaufstrom der Induktivität zu den Piezostapeln zum Fließen gebracht wird. In der Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung wird ein Schalter (SA) wiederholt ein- und ausgeschaltet, um allmählich die Piezostapel aus den zwei Kondensatoren (CA, CB) zu laden, wobei die Steuerbarkeit der Energie verbessert wird. Erfindungsgemäß kann die zum Laden erforderliche Zeit ohne Vergrößerung der Gleichspannungsversorgung verringert werden.

#### Patentansprüche

1. Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung mit einer Gleichspannungsversorgung (B, 21), einem ersten Kondensator (CA), der parallel mit der Gleichspannungsversorgung geschaltet ist und durch die Gleichspannungsversorgung geladen wird, Piezobetätigungsgliedern, Piezostapeln (P1, P2, P3, P4), die jeweils in den Piezobetätigungsgliedern enthalten sind, einem Leitungsweg, der den ersten Kondensator (CA) und die Piezostapel verbindet, einer Steuerungseinheit (22), einer Induktivität (L), die an einem Zwischenpunkt in dem Leitungsweg vorgesehen ist, einer ersten Schalteinheit (SA), die an einem Zwischenpunkt in dem Leitungsweg vorgesehen ist, wobei die erste Schalteinheit (SA) den ersten Kondensator (CA) und die Induktivität (L) unter der Steuerung der Steuerungseinheit (22) voneinander trennt und miteinander verbindet, einem zweiten Kondensator (CB), der vorgesehen ist und in Reihe mit dem ersten Kondensator (CA) zwischen der ersten Schalteinheit (SA) und der Induktivität (L) geschaltet ist, und einer Diode (DB), die zur Verbindung eines Anschlusses des zweiten Kondensators (CB) auf der Seite der Induktivität (L) und der Masse vorgesehen ist, wobei die Diode (DB) eine Durchlassrichtung aufweist, die dieselbe wie eine Richtung ist, in der ein Ladestrom aus der Induktivität (L) in die Piezostapel über die Diode fließt, und die Steuerungseinheit (22) zum wiederholten Ein- und Ausschalten der ersten Schalteinheit (SA) in Reaktion auf einen Piezostapelexpansionsbefehl eingerichtet ist, um die Piezostapel zu laden.
2. Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung nach Anspruch 1, weiterhin mit einem Leitungsweg (W3), der zur Umgehung des ersten Kondensators und der ersten Schalteinheit (SA) und zur Verbindung eines Anschlusses des zweiten Kondensators auf der Seite der ersten Schalteinheit mit der Masse vorgesehen ist, einer zweiten Schalteinheit (SB), die parallel zu der Diode geschaltet ist, und einer dritten Schalteinheit (SC), die zum Öffnen und Schließen des Leitungswegs (W3) vorgesehen ist, wobei die Steuerungseinheit (22) als eine Steuerungseinheit zur Steuerung der zweiten Schalteinheit und der dritten Schalteinheit als auch der ersten Schalteinheit verwendet wird, und die Steuerungseinheit (22) eingerichtet ist, auf einen Piezostapelkontraktionsbefehl und zum Ausschalten der ersten Schalteinheit zu reagieren, die dritte Schalteinheit einzuschalten und die zweite Schalteinheit wiederholt ein- und auszuschalten, wodurch veranlasst

wird, dass die Piezostapel zu dem zweiten Kondensator hin entladen werden.

3. Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Steuerungseinheit (22) eingerichtet ist, auf einen Piezostapelexpansionsbefehl zu reagieren und die erste Schalteinheit (SA) in einen ausgeschalteten Zustand festzuhalten, wenn ein Potenzial an dem Anschluss des zweiten Kondensators auf der Seite der Induktivität einen vorbestimmten Wert erreicht.

4. Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung nach Anspruch 3, wobei die Steuerungseinheit (22) als eine Steuerungseinheit zur Steuerung der Gleichspannungsversorgung (B, 21) verwendet ist, und die Steuerungseinheit (22) eingerichtet ist, eine Ladungsmenge des ersten Kondensators, der durch die Gleichspannungsversorgung aufgeladen wird, derart zu erhöhen und zu verringern, dass eine Änderung in einer Spannung zwischen den Anschlüssen des zweiten Kondensators vor und nach der Entladung der Piezostapel in Reaktion auf einen Piezostapelkontraktionsbefehl ein vorbestimmter Referenzwert wird.

5. Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung nach Anspruch 1, weiterhin mit

Abtrenn-Schalteinheiten (SP1, SP2, SP3, SP4), die zum Abtrennen der Piezostapel von dem Leitungsweg vorgesehen sind, und einer Diode (DF), die zur Verbindung eines Anschlusses des ersten Kondensators auf der Seite der Schalteinheit, die zum Abtrennen und Verbinden des ersten Kondensators und der Induktivität vorgesehen ist, mit einem Anschluss der Induktivität auf der Seite der Piezostapel vorgesehen ist, wobei die Diode eine derartige Richtung aufweist, dass eine Spannung zwischen beiden Anschlüssen des ersten Kondensators eine Sperrspannung wird, wobei die Steuerungseinheit (22) als eine Steuerungseinheit zur Steuerung der Abtrenn-Schalteinheit verwendet wird, und die Steuerungseinheit (22) eingerichtet ist, die Abtrenn-Schalteinheit auszuschalten und die Piezostapel von dem Leitungsweg abzutrennen, wenn die Aufladung der Piezostapel abgeschlossen ist.

6. Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung nach Anspruch 1, weiterhin mit

einem Leitungsweg (W3), der zur Umgehung des ersten Kondensators und der ersten Schalteinheit (SA) und zur Verbindung eines Anschlusses des zweiten Kondensators auf der Seite der ersten Schalteinheit mit der Masse vorgesehen ist, einer zweiten Schalteinheit (SB), die parallel zu der Diode geschaltet ist, und einer dritten Schalteinheit (SC), die zum Öffnen und Schließen des Leitungswegs (W3) vorgesehen ist, wobei die Steuerungseinheit (22) als eine Steuerungseinheit zur Steuerung der zweiten Schalteinheit und der dritten Schalteinheit als auch der ersten Schalteinheit verwendet wird, und die Steuerungseinrichtung (22) eingerichtet ist, durchzuführen:

einen ersten Schritt einer Aktivierungssteuerung einschließlich Einschalten der ersten Schalteinheit, wobei die zweite Schalteinheit und die dritte Schalteinheit in einem ausgeschalteten Zustand sind, zu einem Zeitpunkt der Aktivierung eines Geräts zum Laden der Piezostapel, einen zweiten Schritt der Aktivierungssteuerung, der dem ersten Schritt der Aktivierungssteuerung nach-

folgt, einschließlich Ausschalten der ersten Schalteinheit und Einschalten der dritten Schalteinheit, um eine Entladung des zweiten Kondensators zu bewirken, und einen dritten Schritt der Aktivierungssteuerung, der dem zweiten Schritt der Aktivierungssteuerung nachfolgt, einschließlich Einschalten der dritten Schalteinheit und wiederholtes Ein- und Ausschalten der zweiten Schalteinheit, um ein Entladen der Piezostapel zu dem zweiten Kondensator hin zu bewirken.

7. Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung mit einer Gleichspannungsversorgung (B, 21), einem ersten Kondensator (CA), der parallel mit der Gleichspannungsversorgung geschaltet ist und durch die Gleichspannungsversorgung geladen wird, Piezobetätigungsgliedern, Piezostapeln (P1, P2, P3, P4), die jeweils in den Piezobetätigungsgliedern enthalten sind, einem Leitungsweg, der den ersten Kondensator (CA) und die Piezostapel verbindet, einer Induktivität (L), die an einem Zwischenpunkt in dem Leitungsweg vorgesehen ist, einer Schalteinheit (SA), die an einem Zwischenpunkt in dem Leitungsweg vorgesehen ist, wobei die Schalteinheit (SA) den ersten Kondensator (CA) und die Induktivität (L) voneinander trennt und miteinander verbindet, und einem Widerstand (R), der parallel zu den Piezostapeln geschaltet ist.

8. Piezobetätigungsglied-Antriebsschaltung nach Anspruch 7, weiterhin mit

einem zweiten Kondensator (CB), der vorgesehen ist und in Reihe mit dem ersten Kondensator (CA) zwischen der ersten Schalteinheit (SA) und der Induktivität (L) geschaltet ist, einer Diode (DB), die zur Verbindung eines Anschlusses des zweiten Kondensators (CB) auf der Seite der Induktivität (L) und der Masse vorgesehen ist, wobei die Diode (DB) eine Durchlassrichtung aufweist, die dieselbe wie eine Richtung ist, in der ein zum Laden der Piezostapel verwendeter Ladestrom aus der Induktivität (L) in die Piezostapel über die Diode fließt, einem Leitungsweg (W3), der zur Verbindung eines Anschlusses des zweiten Kondensators auf der Seite der Schalteinheit (SA) mit der Masse vorgesehen ist, einer zweiten Schalteinheit (SB), die parallel zu der Diode geschaltet ist, und einer Schalteinheit (SC), die zum Öffnen und Schließen des Leitungswegs vorgesehen ist, und einer Steuerungseinheit (22), die eingerichtet ist, wiederholt die Schalteinheiten in zueinander entgegengesetzter Phase ein- und auszuschalten.

---

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

---

FIG. 1

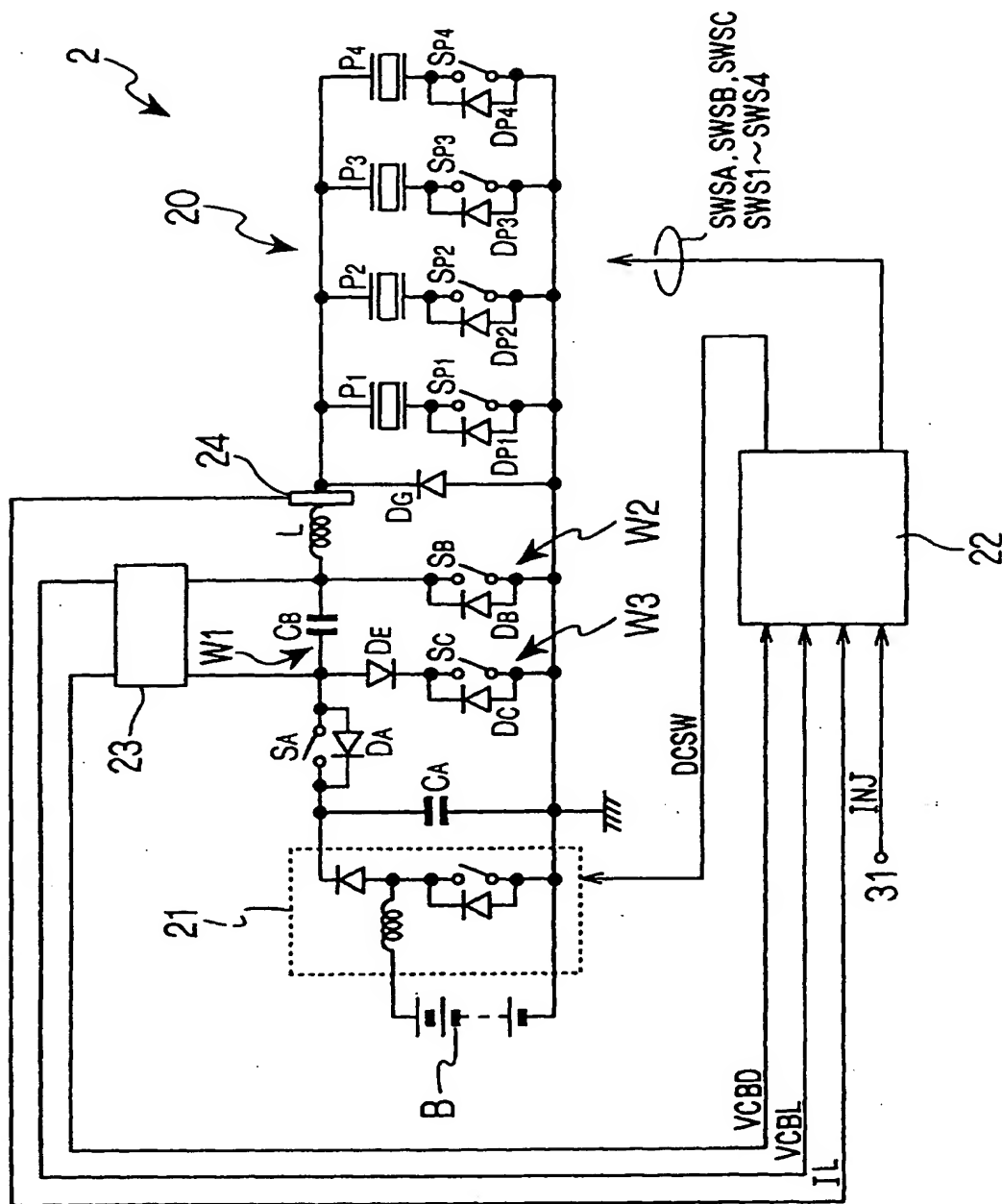




FIG. 2

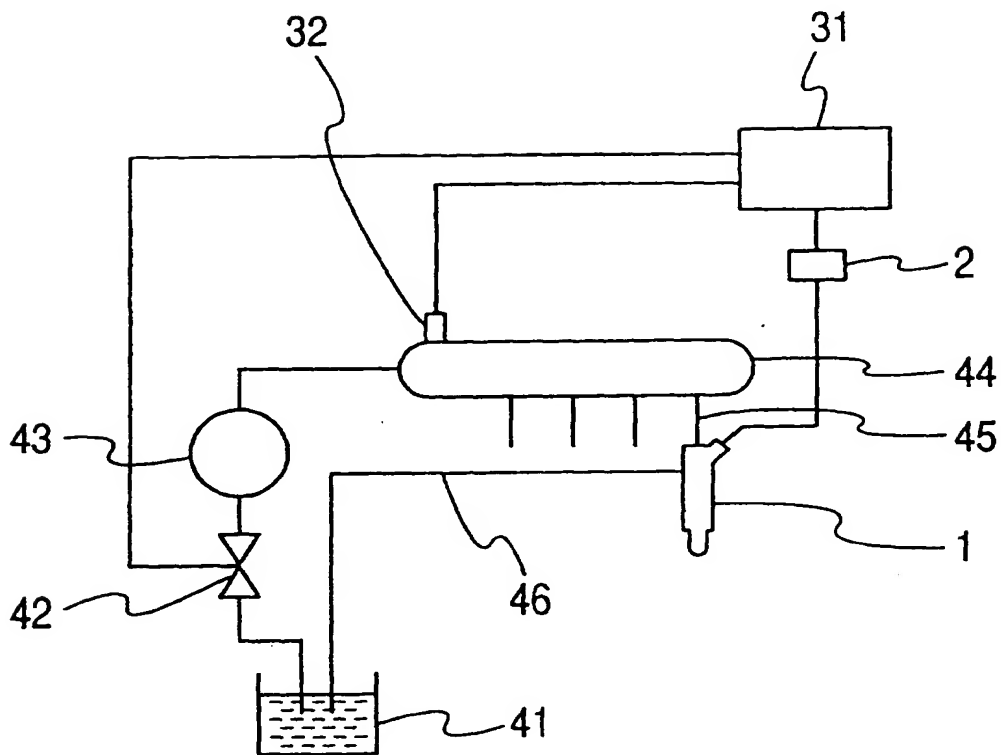


FIG. 3

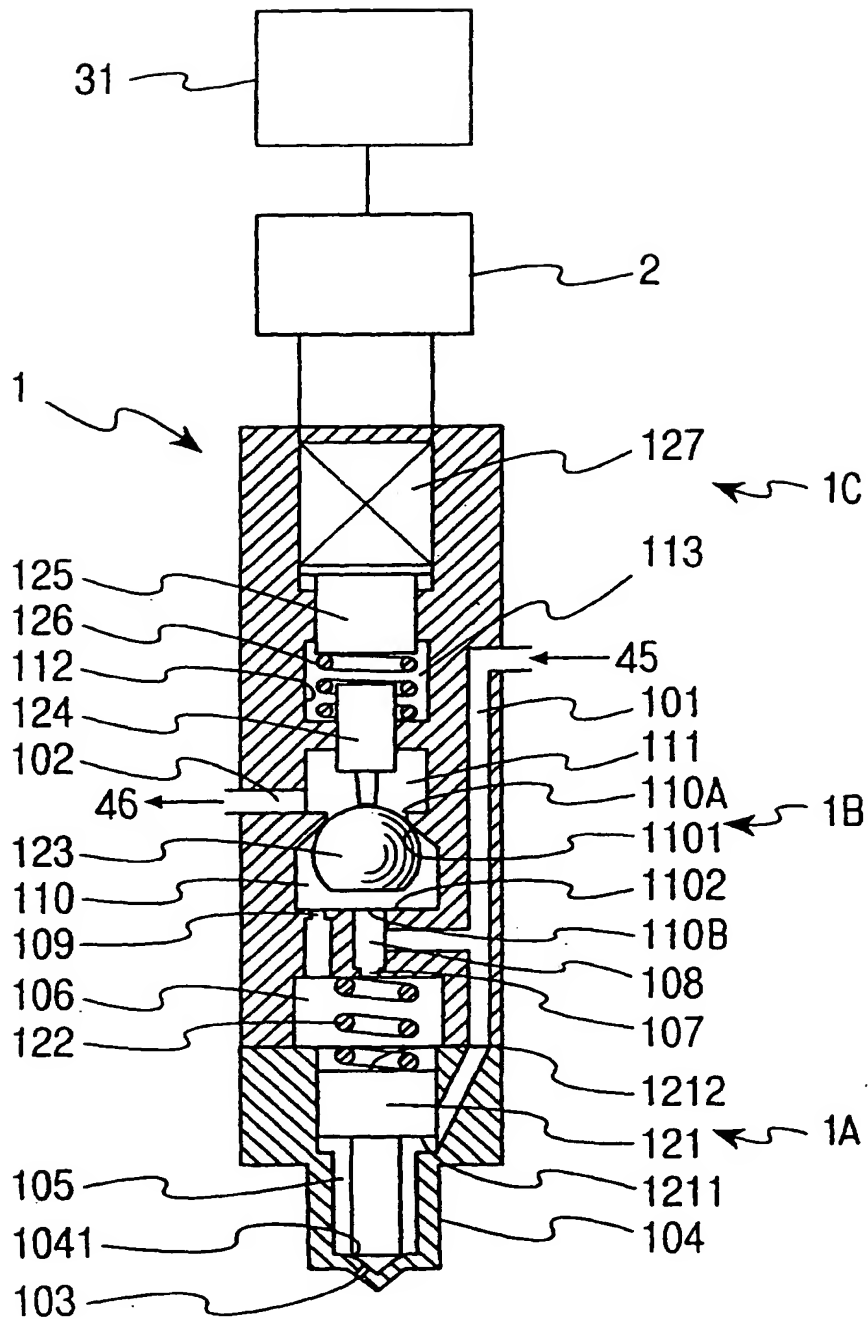


FIG. 4

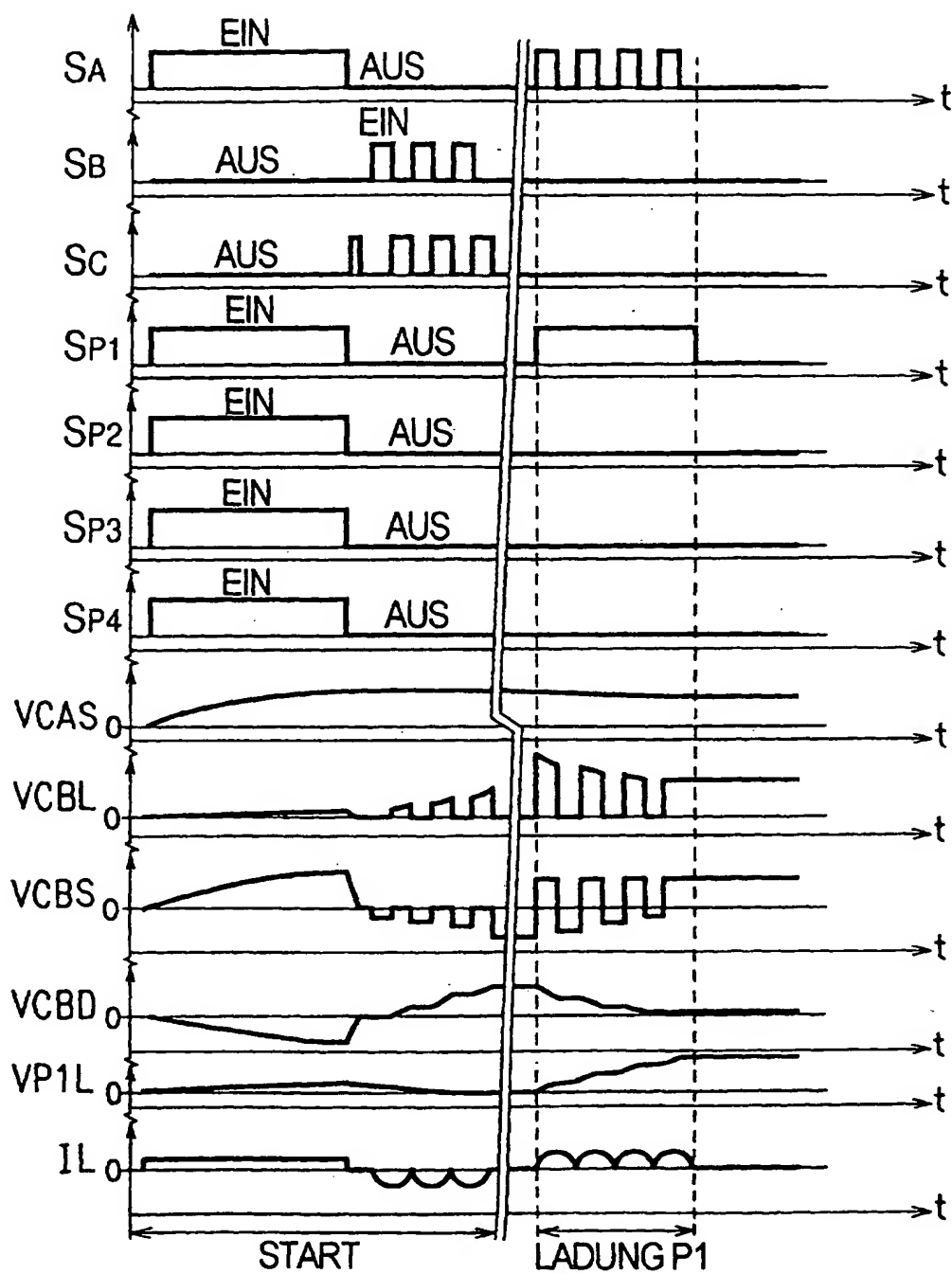
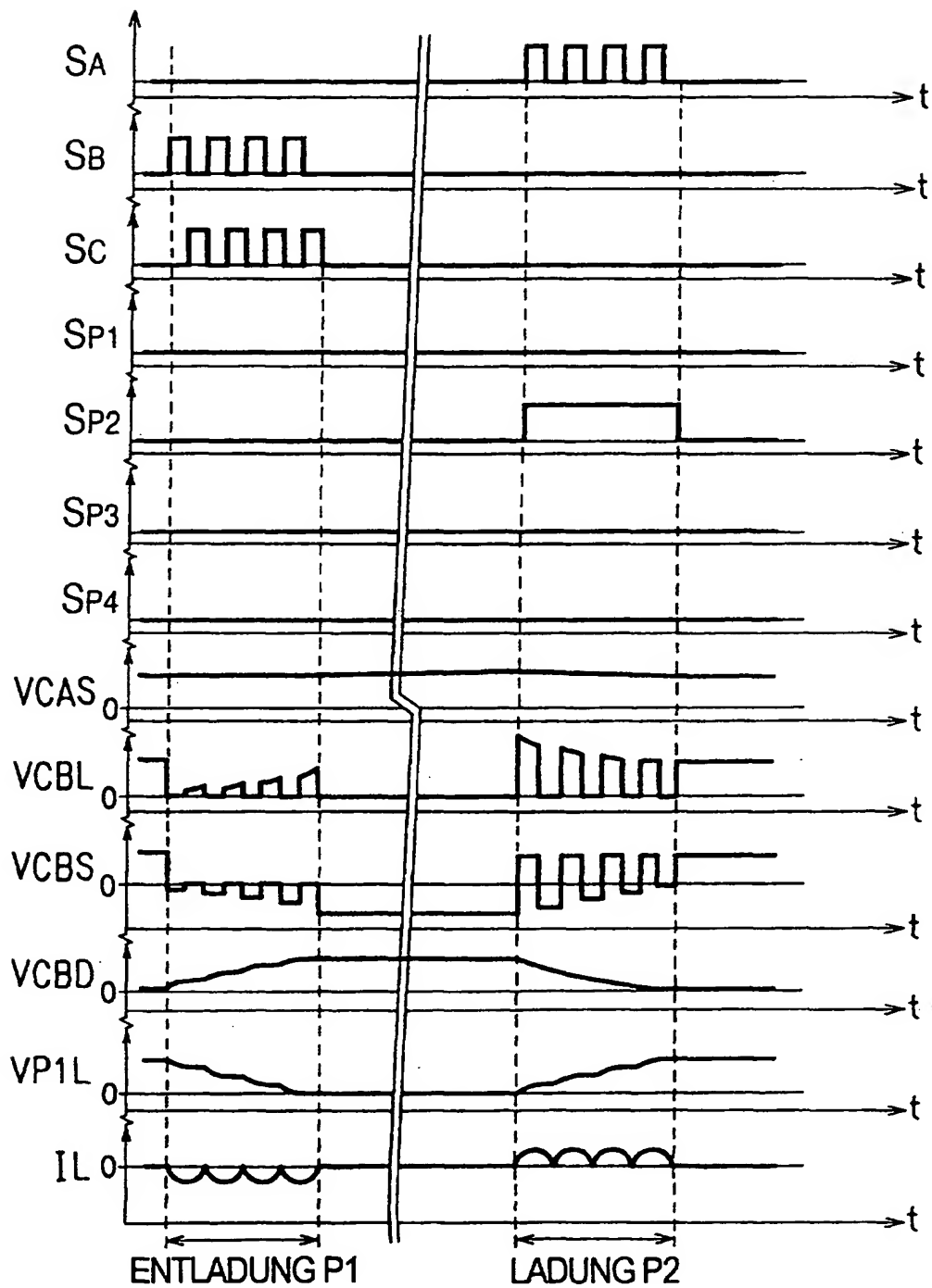


FIG. 5



**FIG. 6**

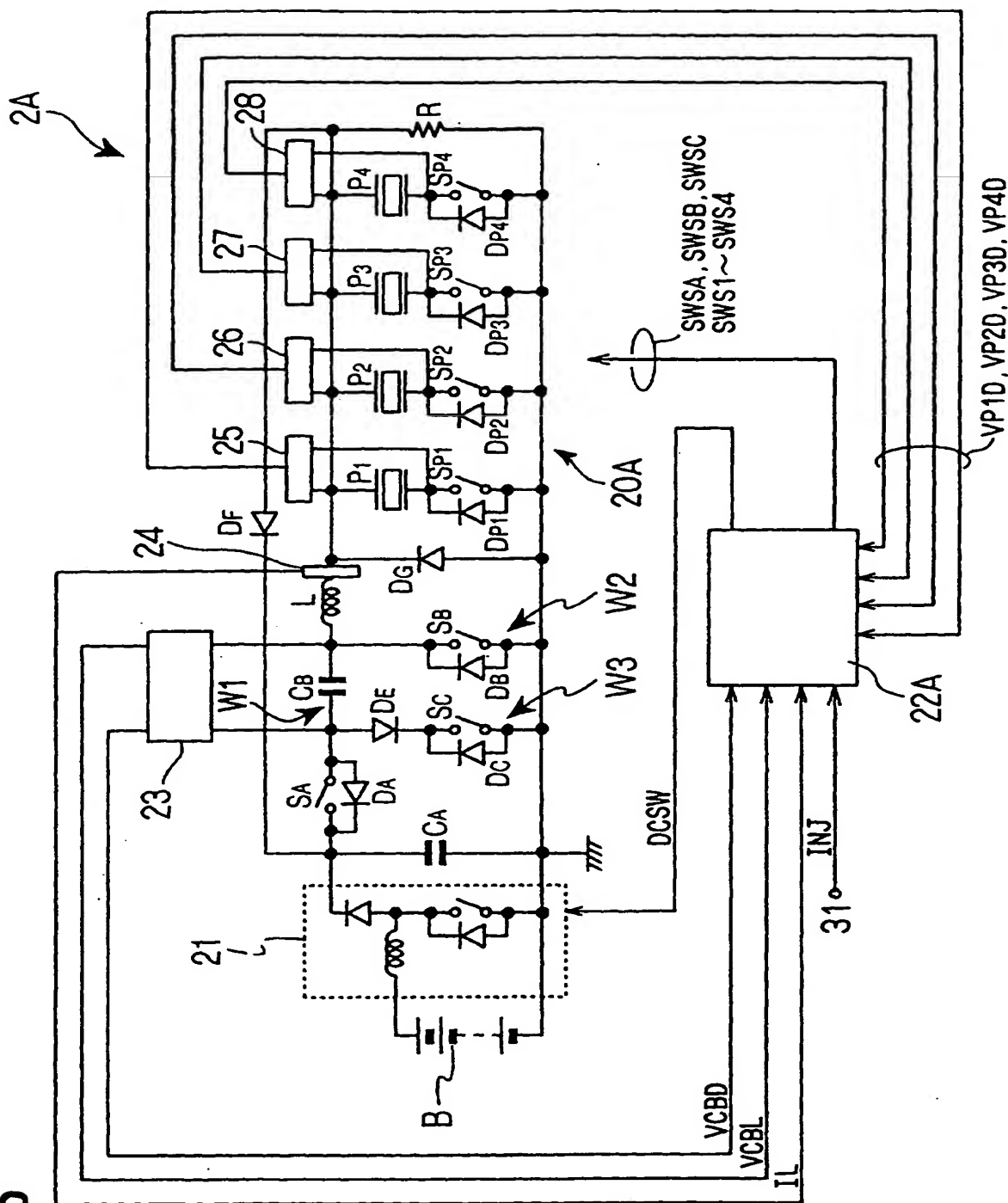




FIG. 7

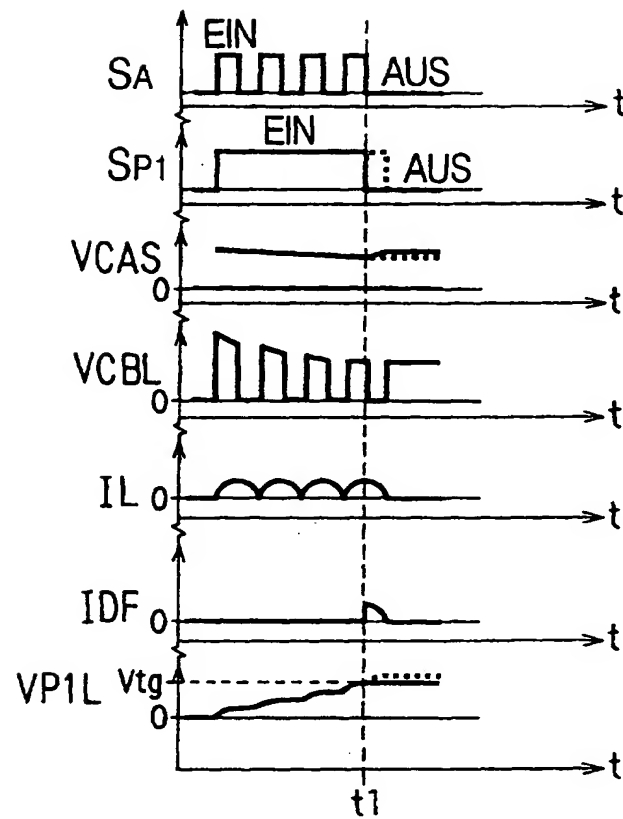
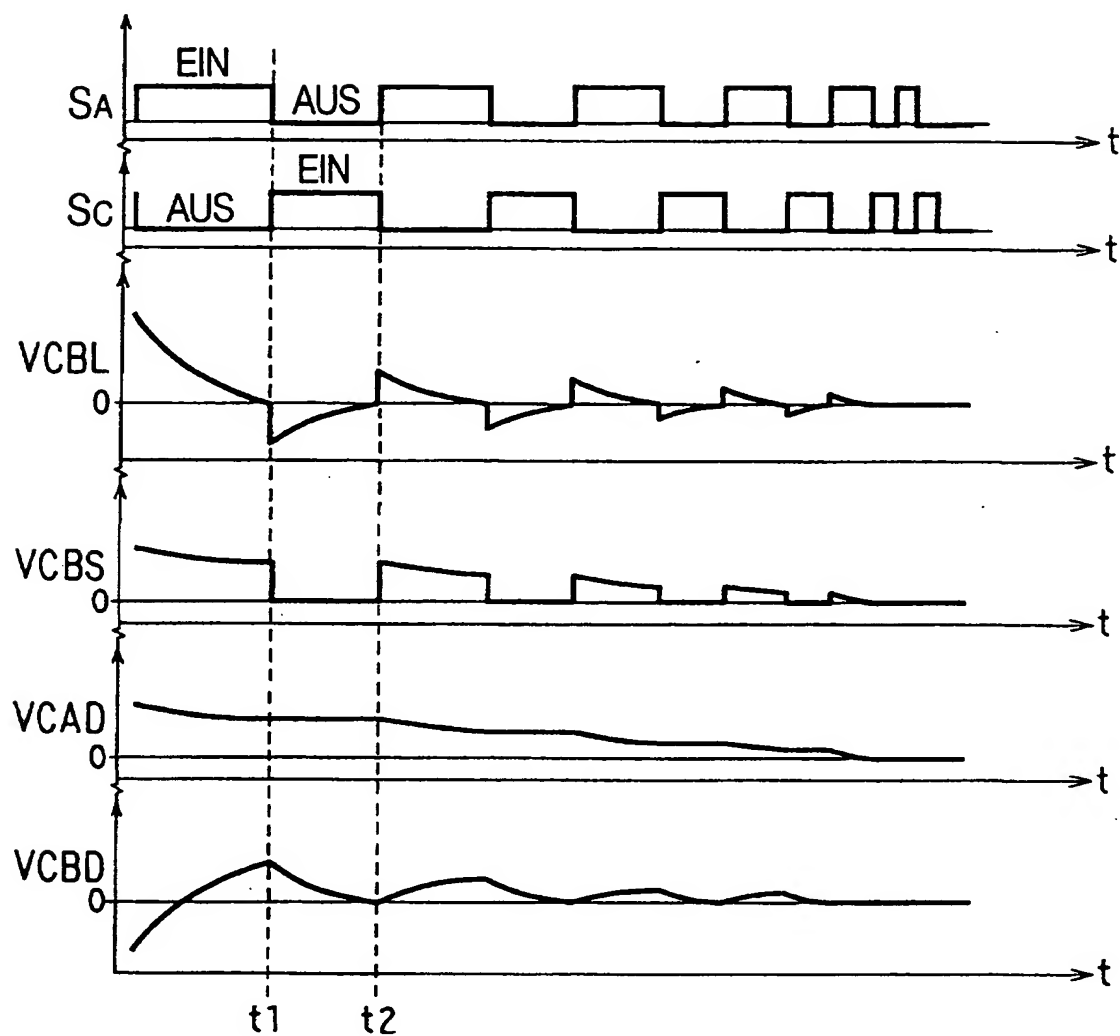


FIG. 8



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**